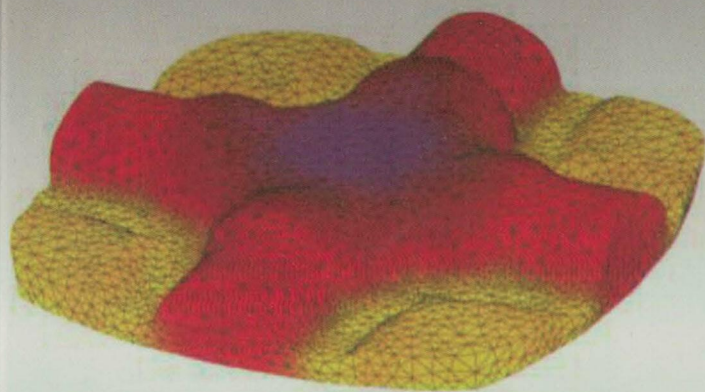


MUDUAN SHIYONG JISHU

模锻实用技术

程里 编著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

模 锻 实 用 技 术

程 里 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书采取理论分析与实际经验相结合的方法,按模锻工艺流程和锻模设计流程对模锻生产进行了全面而系统的讲解。其主要内容包括模锻生产工艺、锤上模锻、热模锻压力机上模锻、摩擦压力机上模锻、平锻机上模锻、锻后工序、辊锻制坯及型槽设计、典型锻模零件设计实例。本书内容翔实,实用性强,涵盖模锻生产实践环节和知识点,着力于弥合锻造专业教育和实际应用之间的缝隙,以培养模锻综合实践能力为目的,所列实例具有代表性、普遍性,在实际模锻生产中具有较高的指导意义。

本书可供锻造工程技术人员,特别是刚从事锻造技术工作的人员阅读使用,也可供锻造工人及高等院校相关专业在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模锻实用技术/程里编著. —北京:机械工业出版社, 2010.3
ISBN 978-7-111-30045-8

I. ①模… II. ①程… III. ①模锻-基本知识
IV. ①TG316.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039780号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:王治东

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年6月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·22印张·440千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30045-8

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

经常和即将毕业到企业从事锻造工作的学生在一起交流，其话题总离不开企业锻造工作究竟怎么回事？学校学的专业知识究竟如何组织、如何用？感到学生有一种对未来工作的恐慌和茫然。因而觉得有必要编著一本实用指导书，以帮助锻造专业的学生和从事模锻的技术人员进行实现自我培养、自我训练，遇到实际问题有依靠，迅速完成从理论到实践的过渡，尽快胜任模锻技术工作。

模锻技术人员的工作兼有现场工程师和设计工程师双重职责。具体而言：

1) 模锻技术属于工程应用技术范畴，应用技术的特点在于其综合性和实用性。因此，模锻实用技术是模锻生产中技术可行性、生产经济性和质量的稳定性的综合体现，并不盲目追求技术上的“先进性”，更多地考虑技术上的合理性、知识的正确和灵活应用。因此，实际生产中必须真正了解生产现场布置、模锻及辅助设备、生产管理、工人技术水平以及生产习惯情况，才能根据锻件的形状特点和现有设备情况，选择合理的模锻工艺流程和工艺参数，生产经济和高质量的产品。

2) 一定要有独立、完整的完成典型模锻零件全过程设计的工作经历，包括锻件设计、工艺流程（工序、设备、流转及生产率等），以及全套模具设计（下料、制坯、预锻、终锻切边清理设计），经试锻、改进和不断完善并且批量生产。只有亲自体验，感觉才真切，才能编制出合理的工艺规程来。

一个合格的模锻技术人员的成长过程分为以下三个阶段：

1) 模仿阶段：主要是传帮带，比照图样模仿原来的产品怎样做，模仿老师怎样做，模仿手册或书上怎样说，在模仿中进步，在模仿中成长。

2) 体验阶段：随着一定的工作积累，开始思考如何把这种模仿和专业知识结合起来，在实践中不断去体会，去验证和修正，相同的体验形成经验，变成知识模块固化下来。

3) 体认阶段：就是体察和认知，即能够把经验里面的规律挖掘出来，不但知其然，还能知其所以然。这时候，就可以活学活用这些经验，还能够把其他人的经验转化为自己的，形成自己的模锻实用体系。

本书可供锻造工程技术人员，特别是刚从事锻造技术工作的人员阅读使用，也可供锻造工人及高等院校相关专业在校师生参考。

本书由重庆理工大学程里研究员级高工编著。第1章讲述了模锻生产、模锻经济技术分析以及模锻件的结构工艺性。第2章至第5章讲解了锤上锻模、热模锻压力机上模锻、摩擦压力机上模锻以及平锻机上模锻的锻件设计、工艺选择、锻模设

计及锻模结构及紧固。第6章锻后工序讲解了切边冲孔模设计、锻件清理、校正及精压。第7章讲解了辊锻制坯及型槽设计。第8章详细讲解了典型模锻件的工艺选择及锻模设计内容。

本书作者曾长期在专业锻造厂生产一线从事技术工作，在锻造理论研究和实际应用技术的结合上做了大量工作，希望通过自己对锻造的认识和理解，给予广大读者有益的帮助。由于受个人视野和专业范围所限，难免存在不足与错漏，敬请批评指正。

程里

目 录

前言

第 1 章 模锻生产工艺	1
1.1 模锻成形方法	1
1.1.1 开式模锻成形过程和金属流动	2
1.1.2 闭式模锻成形过程和金属流动	7
1.1.3 挤压成形过程和金属流动	9
1.2 模锻生产	11
1.2.1 模锻工艺过程	11
1.2.2 模锻车间和机组	18
1.2.3 模锻设备	21
1.3 模锻工艺方案选择	24
1.3.1 工艺方案选择	24
1.3.2 模锻经济技术分析	26
1.3.3 模锻工艺规程	27
1.4 模锻件工艺结构性	31
1.4.1 锻件的形状与工艺性	31
1.4.2 锻件结构要素	34
1.4.3 锻件图与零件图	44
第 2 章 锤上锻模	48
2.1 模锻锤及其锻造工艺特点	48
2.2 模锻工艺选择	52
2.2.1 锤锻模锻件分类	52
2.2.2 锻件图	55
2.2.3 锤上模锻成形方案	67
2.2.4 坯料计算	72
2.2.5 模锻锤吨位确定	78
2.3 锤上模锻型槽设计	80
2.3.1 终锻工序和型槽的选择	80
2.3.2 预锻工序和型槽的选择	85
2.3.3 制坯工序和型槽的选择	89
2.3.4 切断型槽	113
2.4 锻模结构与型模布置	115
2.4.1 锤上锻模安模空间和紧固方式	115

2.4.2 型模布置	118
2.4.3 模块尺寸	126
2.4.4 镶块锻模	130
2.5 锻模的冷却和润滑	132
第3章 热模锻压力机上模锻	135
3.1 热模锻压力机及其锻造工艺特点	135
3.2 热模锻压力机模锻工艺	138
3.2.1 热模锻压力机模锻件的分类及锻件图的设计	138
3.2.2 热模锻压力机上成形工步选择	141
3.2.3 坯料计算	149
3.2.4 热模锻压力机公称压力确定	152
3.3 热模锻压力机型槽设计	153
3.3.1 终锻工步与型槽设计	153
3.3.2 预锻工步与型槽设计	155
3.3.3 制坯工步与型槽设计	158
3.4 热模锻压力机模具结构及紧固	163
第4章 摩擦压力机上模锻	171
4.1 摩擦压力机及其锻造工艺特点	171
4.2 摩擦压力机模锻工艺选择	174
4.2.1 锻件分类和锻件图的设计	174
4.2.2 开式锻模设计	179
4.2.3 自由锻制坯	182
4.2.4 闭式锻模设计	187
4.2.5 精锻模设计	189
4.2.6 摩擦压力机公称压力选择	191
4.3 模具结构设计	193
第5章 平锻机上模锻	199
5.1 平锻机工作原理和操作方法	199
5.2 平锻工艺选择	204
5.2.1 平锻件设计	204
5.2.2 平锻工艺过程	208
5.2.3 镦锻工步设计	210
5.2.4 冲孔工步及预锻成形	215
5.2.5 坯料计算	219
5.2.6 平锻机公称压力选择	220
5.3 平锻型槽设计	221
5.3.1 终锻、预锻型槽设计	221
5.3.2 镦锻型槽设计	222

5.3.3 夹紧型槽设计	225
5.3.4 扩径型槽设计	227
5.3.5 卡细型槽设计	227
5.3.6 切边型槽设计	228
5.3.7 穿孔型槽设计	229
5.3.8 切断型槽设计	231
5.4 平锻模具结构及紧固	232
第6章 锻后工序	250
6.1 切边和冲孔模设计	250
6.1.1 切边冲孔设备	250
6.1.2 切边模	252
6.1.3 冲孔模	262
6.1.4 切边模、冲孔模的形式选择	263
6.1.5 切边压力机公称压力选择	266
6.2 锻件校正	266
6.3 锻后热处理和锻件清理	270
6.4 锻件精压	273
第7章 辊锻制坯及型槽设计	278
7.1 辊锻变形特点及参数	279
7.2 辊锻工艺及型槽设计	282
7.2.1 辊锻毛坯图设计	282
7.2.2 确定辊锻道次 n 和各辊锻工步延伸系数的分配	284
7.2.3 型槽孔型系的选择	287
7.2.4 制坯辊锻型槽设计	290
7.2.5 各工步辊锻纵向尺寸的计算	299
7.2.6 辊锻机规格的选择	301
第8章 典型锻模零件设计实例	305
8.1 锤上模锻典型锻模零件设计实例	305
8.1.1 常啮合齿轮工艺及锻模设计	305
8.1.2 汽车连杆工艺及锻模设计	308
8.1.3 汽车前轴分段模锻工艺及锻模设计	319
8.1.4 多拐曲轴模锻工艺及锻模设计	321
8.2 热模锻压力机上模锻典型锻模零件设计实例	325
8.2.1 中间常啮合齿轮模锻工艺及锻模设计	325
8.2.2 左右转向节臂模锻工艺及锻模设计	326
8.3 摩擦压力机模锻典型锻模零件设计实例	335
8.3.1 M-20 型小轿车连杆	335
8.3.2 后桥半轴	337

8.3.3 十字节轴	337
8.3.4 齿轮坯	338
8.4 平锻典型锻模零件设计实例	339
8.4.1 水箱拉杆锻锻	339
8.4.2 汽车半轴平锻工艺	341
参考文献	343

第 1 章 模锻生产工艺

模锻是模型锻造的简称。模锻是为了解决自由锻生产率低、精度差等问题，实现锻件规模化、专业化生产的需要，在自由锻和胎模锻基础上发展起来的在锻模上成型的方法。如果没有模锻工业成批锻出千万件形状完全一致的锻件，汽车工业的大规模机械化生产将是不可想象的。

锻模一般由上模和下模两部分组成，锻模上、下模均开有型槽（亦称模膛、模腔或模槽），型槽的空腔形状和尺寸与锻件的形状和尺寸相同。模锻时坯料放在下模上，随着上、下模合模施加压力（一次或多次），金属坯料在型槽的约束和限制下，产生塑性变形、流动并充填型槽，最后获得与型槽形状一致的锻件。

由于模锻时金属在型槽内成形，因而模锻件成形速度快，生产效率高，可进行成批、大量生产；锻工操作较容易，劳动强度低；模锻件尺寸较精确，能锻造出自由锻造很难锻出的形状，外形美观呈流线形，表面质量较好，加工余量较小，甚至不需要再进行机加工（如连杆杆身及曲轴拐颈部位），可以节省金属材料；易于实现工艺过程的机械化和自动化；同时模锻可使金属流线分布更为合理、组织更加致密，从而提高零件的力学性能，延长零件的使用寿命。

由于模锻件有这些优点，因而它被广泛用于重量轻、强度高、安全度和可靠性要求高的零件毛坯制作，如齿轮、轴、联轴节、叶片、曲轴、连杆和臂杆、高压阀体等，都广泛应用模锻件。

但是，由于模锻件是在模锻设备上整体塑性成形，因而模锻件生产受到模锻设备吨位限制，模锻件的重量一般在 250kg 以下。模锻设备投资较大，模具费用较昂贵，工艺灵活性较差，生产准备周期较长。同时，锻模形状复杂、制造困难，要求用较好的材料，制造费用高。因此，只有当生产批量较大、经济核算合理时才适宜采用。

1.1 模锻成形方法

按目前实际生产中主要采用的方式，模锻可分为开式模锻（见图 1-1）与闭式模锻（见图 1-2）。开式模锻要形成飞边（也称毛边），因而称为有飞边模锻；而闭式模锻在正常情况下不产生飞边，因而又称为无飞边模锻。

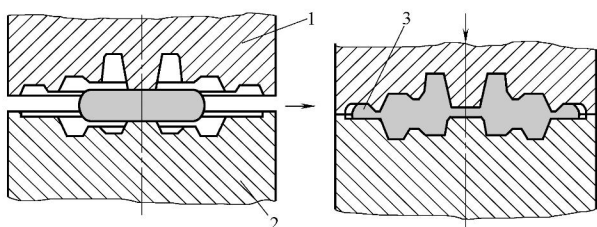


图 1-1 开式模锻

1—上模 2—下模 3—飞边

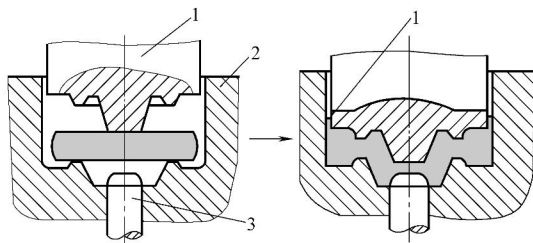


图 1-2 闭式模锻

1—凸模 2—凹模 3—飞边

1.1.1 开式模锻成形过程和金属流动

开式模锻是最广泛使用的模锻方法，适用于各种类型的锻件和各种类型的锻压设备。开式模锻之所以称作“开式”模锻，就是在模锻全过程中，型槽四周一直敞开着，开式模锻的终锻型槽在整个分型面上都有飞边槽（也称毛边槽），是多余金属流出的地方。由于飞边槽的存在，当上下锻模接近时，飞边减薄，金属流入飞边比充满型槽困难，迫使金属流入并充满型槽。开式模锻的优点在于飞边起到了调节补偿、缓冲作用，保证了生产工艺的稳定性和复杂平面图的锻件成形，但是其飞边材料损耗为锻件重量的 10% ~ 50%，平均约为 30%，而材料费占模锻件成本的 60% ~ 70%。

1. 开式模锻的充形过程

开式模锻的变形过程如图 1-3 所示，在一般情况下，可以划分为三个阶段：自由变形（自由锻）阶段、形成飞边和充满型槽阶段和锻足（打靠）阶段。各变形阶段相应的工作行程分别为 ΔH_I 、 ΔH_{II} 和 ΔH_{III} ，总的工作行程 $\Sigma \Delta H = \Delta H_I + \Delta H_{II} + \Delta H_{III}$ 。

开式模锻模具的分型面与模具运动方向垂直，模锻过程中分型面之间的距离逐渐减小，在模锻的第 II 阶段（充满阶段）形成横向飞边，依靠飞边的阻力使金属

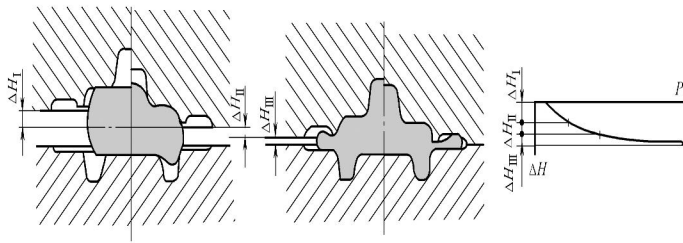


图 1-3 开式模锻的变形过程

充满型槽。

(1) 自由变形阶段 由上模型槽表面与坯料接触开始 (ΔH_I)，至坯料变形后与飞边槽开口处接触为止 (ΔH_{II})。这个阶段坯料的变形与自由锻变形工序相同，分别相当于自由锻粗、局部锻粗、开式冲孔和挤入等。这个阶段的变形抗力相对于后两个变形阶段是最小的，而且尚未形成飞边损耗。在实际生产中，此阶段使金属最大限度地充满型槽最为有利。或者终锻前采用预成形工步，使坯料断面在终锻时，能以锻粗和冲孔方式代替挤入方式填充型槽。

(2) 形成飞边和充满型槽阶段 由金属横向流入飞边槽开始 (ΔH_{II})，至金属完全充满型槽为止 (ΔH_{III})。在这个阶段中，金属有两种流动：一种是金属横向挤入飞边槽形成飞边。在飞边槽桥部由于摩擦和飞边的变形产生横向流动阻力，随着飞边的增宽、变薄和降温，横向流动阻力迅速增大，影响变形抗力也迅速增大。当飞边增宽至桥部宽度后，飞边继续变薄和降温，继续使横向流动阻力和变形抗力有所增大。另一种发生的金属流动，迫使金属挤入具有较小主压应力的型槽未充满部位。这个阶段的变形抗力、消耗的变形功和飞边损耗，都随此阶段变形行程 ΔH_{II} 的增加而急剧增加。因此，应尽可能减小此阶段的变形行程 ΔH_{II} 。变形行程 ΔH_{II} 的大小决定于型槽断面的几何形状和尺寸、第 I 阶段变形后型槽断面的充满程度和飞边的横向流动阻力等因素，此外还与模锻设备的工作特性有关。采取增大飞边横向流动阻力的工艺措施，可以在一定限度内减小 ΔH_{II} 和减少飞边损耗。

(3) 锻足阶段 由金属完全充满型槽开始 (ΔH_{III})，至上、下模完全闭合（打靠）为止，将多余金属由飞边挤出，保证锻件高度尺寸。在这个阶段中，变形仅发生在飞边桥部附近的椭圆形区域内，其他区域为不变形的刚性区。在此阶段，由于飞边继续变薄和降温，变形抗力继续增大，达到开式模锻的最大值，开式模锻所需的变形力即按此值计算。从降低变形力、减少变形功和飞边损耗来看，都要求 ΔH_{III} 尽可能小些。但从保证锻件的成形和模锻成批生产的稳定性来看，都不能没有这个阶段（即应使 $\Delta H_{III} > 0$ ）。因为实际生产中有一些工艺因素经常是在一定范围内波动的，例如型槽的磨损、实际锻造温度的波动、实际坯料的体积（或断面面

积)的波动、坯料放入型槽的偏位等,对于复杂形状锻件的各个不同断面,不可能同时充满型槽。这些情况都必须靠一定数值的 ΔH_{III} , 作为补偿和调节环节。统一以上两个方面的矛盾,按照锻件重量和复杂程度,一般应使 $0.5\text{mm} > \Delta H_{\text{III}} > 0\text{mm}$, $2.5\text{mm} > \Delta H_{\text{III}} > 0\text{mm}$ 。

由于锻件的复杂程度和使用的模锻设备不同,以上三个阶段的变形过程,可以只在一个终锻型槽里完成,也可以在预锻和终锻两个型槽里顺序完成。虽然在单型槽单击或多击和多型槽单击或多击的各种情况下,开式模锻的三个变形阶段的具体情况是有差异的,但总是要经历并完成这三个阶段的变形过程。改善开式模锻变形过程的基本原则之一,就是扩大 ΔH_{I} , 缩短 ΔH_{II} , 保证必要的较小的 ΔH_{III} 。

开式模锻若不能完成上述三个阶段的变形过程,则会造成模锻件的两种常见缺陷:充不满与锻不足(欠压)。充不满是上下模已闭合,而第Ⅱ阶段变形尚未完成。造成充不满的基本原因是 ΔH_{I} 太短,第Ⅱ阶段变形开始太早和飞边横向流动阻力太小。锻不足多发生在设备吨位不足的情况下,或飞边流动阻力过大,造成设备吨位不足。

2. 金属平面流动

观察生产中使用过的各种开式模锻锻模(见图1-4),由于金属剧烈流动,在预锻和终锻型槽的凸起部位和飞边桥部的表面留下了磨损痕迹。这些流动痕迹反映了模锻时金属流动变形的一些特性。

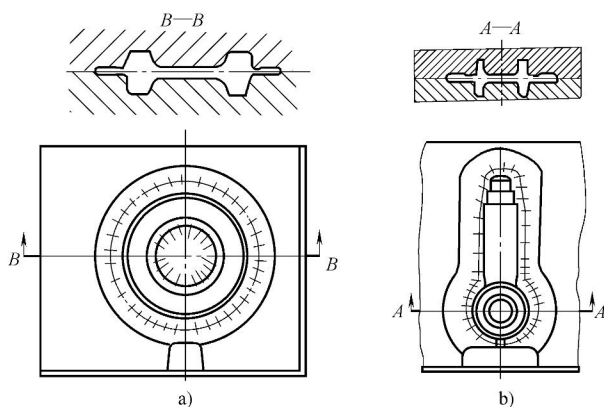


图1-4 终锻型槽流动磨损痕迹示意图

a) 齿轮锻件 b) 拉杆锻件

图1-4a所示为典型的短轴线类回转体(饼类)锻件,金属是以轴线为中心沿半径方向对称流动,由圆心向外发散分布,这种特性称为轴对称变形。图1-4b反映了长轴线类锻件模锻时金属的变形特性,在锻件端部(尤其在大头部位)具有轴对称变形特性,但在杆部流痕与轴线方向垂直分布,说明金属沿轴线方向没有流

动，而只在垂直于轴线的平面内流动，这种特性称为平面变形。在图 1-5 中给出了体积模锻时金属流动的平面和方向。这样可以将实际上是立体的（三维）模锻变形过程，简化为平面（二维）的问题，即以断面来进行分析。

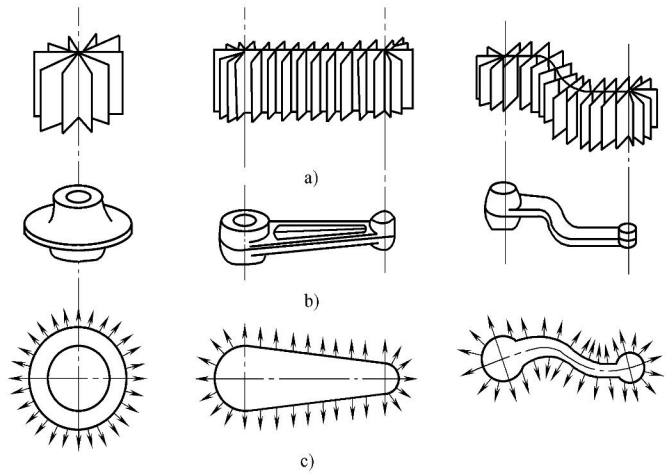


图 1-5 金属流动的平面和方向
a) 流动平面 b) 锻件形状 c) 流动方向

用断面表示开式模锻的变形过程，对于轴对称变形和平面变形，二者的情况是相似的，都是将简单几何形状的坯料断面（如椭圆断面、矩形断面等），变形为相应的带有飞边的锻件断面（即带有飞边槽的型槽断面），如图 1-6 所示。二者的差别主要在于：平面变形的断面面积变形前后相等，而轴对称变形是变形前后体积相等，反映在断面上则金属离心向外流动时断面积减小，反之向心挤入流动时断面积增大。

3. 型槽充型的三种形式

模锻核心内容是迫使坯料塑性流动时能尽可能好地充满锻模型槽。

在开式模锻成形过程中，金属坯料以变形、挤入和流动充填型槽，经常采用的加压方式有三种：镦粗、冲孔（劈叉）、压入。其中，以镦粗变形的变形抗力最小，冲孔（劈叉）变形的变形抗力次之，挤入变形的变形抗力最大。在实际工作中，短轴线类回转体（饼类）锻件的充填方式如图 1-7 所示，长轴线类（杆类）锻件充填方式如图 1-8 所示。

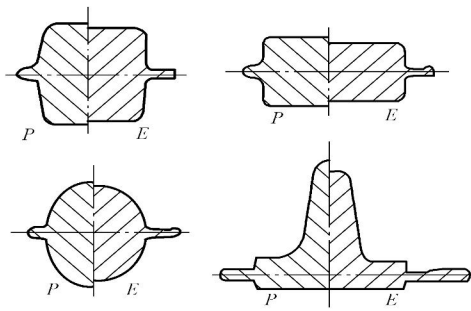


图 1-6 锻件及锻坯横截面示例
P—锻坯形状 E—锻件形状

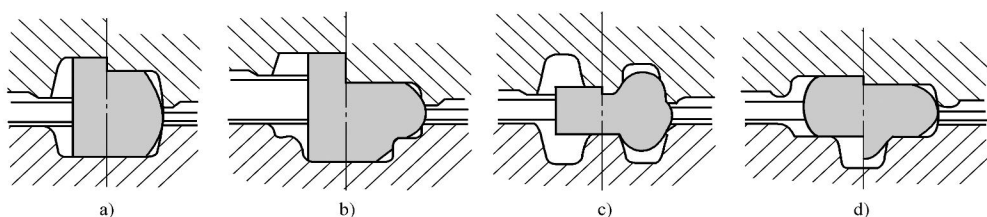


图 1-7 短轴线类回转体（饼类）锻件充填方式

a) 自由锻粗 b) 局部锻粗 c) 开式冲孔 d) 挤入

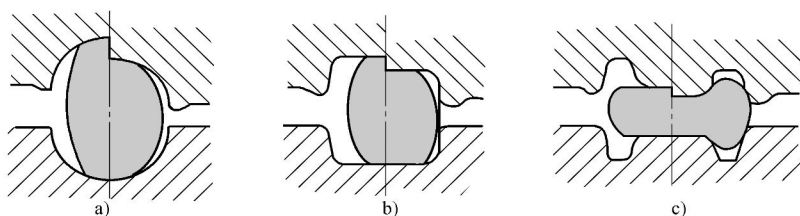


图 1-8 长轴线类（杆类）锻件充填方式

a) 椭圆→圆 b) 椭圆→矩形 c) 矩形→工字形

对于复杂断面的型槽，终锻前采用预成形工步，使坯料断面在终锻时，能以锻粗和冲孔代替挤入可以改善金属充满型槽的程度。

4. 飞边槽

飞边槽的尺寸选择原则是既能保证金属较好地充满终锻型槽，又能只有较少的金属损耗在毛边上。

图 1-9 所示为对照图 1-3 开式模锻变形过程的锤上模锻时锻造变形力-行程曲线。 P_0 点为锻模与毛坯开始接触。在 P_1 点以前，金属在型槽中流动的阻力不大。达 P_1 点开始形成飞边， P_1 点后金属开始从型槽流向飞边，此时流动阻力增大，变形力显著上升，迫使金属流向型槽内尚未充满的地方。达 P_2 点后，型槽已完全充满，但上、下模尚未打靠。此时，型槽内的多余金属将继续挤入飞边槽。由于位于飞边桥部的金属厚度不断减少和温度降低，金属的流动阻力显著增大，从而使锻造变形力急剧上升，达 P_3 点时模锻结束。

合理的飞边槽尺寸，应使在 P_1 点时金属流入飞边的阻力大于金属充满型槽的阻力。而合理的锻坯形状和尺寸，应使 P_1 点的压力增大，即金属流入飞边以前，型槽已基本充满；并使 P_3 点

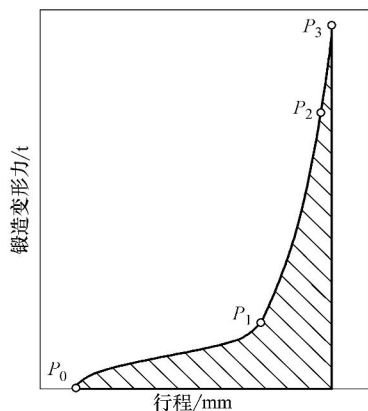


图 1-9 变形力-行程曲线

靠近 P_2 点,即当型槽完全充满后,上下模分型面恰好打靠。

影响阻流作用大小的主要参数是桥部的宽高比 b/h_{f} 和桥部高度 h_{f} 。 b/h_{f} 越大, h_{f} 越小,则阻流作用越大。相对而言, b/h_{f} 是比桥部高度 h_{f} 影响更大的因素,增大 b/h_{f} ,可以较大地加强阻流作用,从而更有利于型槽充满或减少飞边损耗,而且在 $b/h_{\text{f}} \approx 5$ 时所需的变形能量最小。但过大的 b/h_{f} 除了有增大变形力和变形功的坏作用之外,没有什么好处。生产实践经验也表明, $b/h_{\text{f}} = 4 \sim 6$ 比较适宜。

1.1.2 闭式模锻成形过程和金属流动

闭式模锻亦称无飞边模锻,坯料在封闭型槽内以镦粗或挤压的方式变形成锻件。同开式模锻相比,闭式模锻比采用开式模锻所需的变形力和变形功约低 30%~50%,可大大提高金属材料的利用率和锻件精度,锻件表面质量好,金属纤维分布更加合理,尤其对一些塑性较差的材料成形更为有利。但是闭式模锻对下料、制坯及坯料定位等要求较高,锻件出模困难,因而一般只适用于轴对称变形或近似轴对称变形的锻件,应用最多的是短轴线类的回转体锻件。

1. 闭式模锻的充形过程

闭式模锻变形过程分为三个阶段(见图 1-10):开式镦粗阶段、充满角隙阶段和挤出端部飞边阶段。

(1) 开式镦粗阶段 开式镦粗即为自由镦粗,即由开始变形(ΔH_I)至金属基本充满型槽(ΔH_{II})。从坯料与冲头或上型槽表面接触开始到坯料金属与型槽(最宽处)的侧壁接触为止。在这一阶段中,金属充满型槽中某些容易充满的部分。此阶段结束后继续变形时,变形抗力将急剧增高。

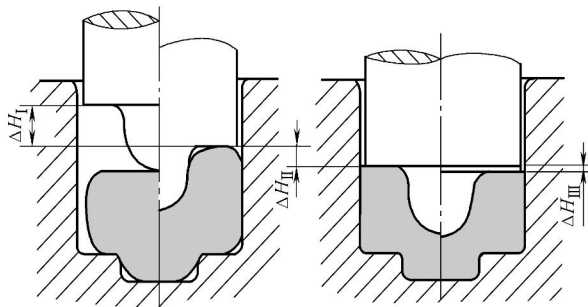


图 1-10 开式模锻的变形过程

此阶段结束后继续变形时,变形抗力将急剧增高。

(2) 充满角隙阶段 即从毛坯的鼓形侧面与凹模侧壁接触开始(ΔH_{II})到金属完全充满型槽为止(ΔH_{III})的阶段。在这一阶段中,变形金属的流动受到模壁的阻碍,变形金属各部分处于不同三向压应力状态。随着毛坯变形程度的增加,模壁承受的侧向压力逐渐增大,直到型槽完全充满。在该阶段开始时,坯料的变形区位于未充满处附近的两个刚性区之间。在此阶段结束时的变形力比第 I 阶段末可增大 2~3 倍,变形区随着变形过程的进行逐渐缩小,最后消失,但变形量 ΔH_{II} 却很小。

(3) 挤出端部飞边阶段 即从充满型槽后(ΔH_{III})的多余金属在继续增大的压力作用下挤入凸、凹模之间的间隙中,形成环形纵向飞边。飞边不仅增大了能量消耗,而且会加速模具的磨损,因此镦粗式闭式模锻的最佳模锻锻力应是指最难成

形的四角充满后模锻过程立即停止时动力。

闭式模锻一般适用于轴对称变形或近似轴对称变形的锻件，应用最多的是短轴线类的回转体锻件。

闭式模锻型槽的受力状况与锻件的高径比 H/D 有关， H/D 越小，型槽受力状况越好，因此， H/D 越小的锻件，更适宜采用闭式模锻。

2. 闭式模锻的精确定位

金属在闭式模锻的变形流动填充型槽主要有墩锻成形（整体或局部）和挤压成形的两种形式。整体墩锻成形（见图 1-11a）是以坯料外径定位，金属在墩粗过程中分流挤入轮毂和轮缘部位；而局部墩锻成形（见图 1-11b）是以坯料不变形部位定位，主要是局部墩粗和冲孔两种变形。

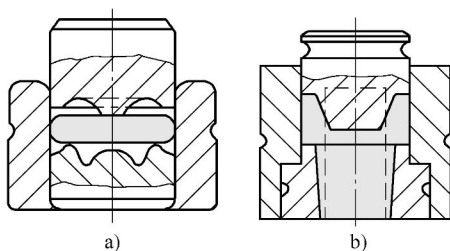


图 1-11 整体墩锻和局部墩锻

a) 整体墩锻 b) 局部墩锻

在开式模锻中，坯料在型槽中定位不准确，甚至明显地偏移也不会影响型槽充满或影响很小，这是因为开式模锻依照飞边宽度的不均匀形成来得以补偿。然而在闭式模锻中，不精确的坯料定位会导致模锻中金属流动不均匀，甚至导致金属挤入分型面而形成端部纵向飞边，进而引起凸模相对于凹模歪斜，妨碍锻模的闭合。经验表明，当形成了局部的端部飞边后，如果依靠强制的冲击来使金属充满型槽，会导致锻模严重损坏。同时，楔入凸凹模间隙小的端部飞边是降低锻模寿命的主要原因之一。

因此，闭式模锻的成效在很大程度上取决于坯料在型槽中精确定位的可能性。

3. 闭式模锻的纵向飞刺

在实际生产中，模锻锤上闭式模锻存在的主要问题是锻模寿命低和产生较大的纵向飞刺，纵向飞刺清除比较困难。有些适量加大余量，零件允许在分模处有少量的充不满，例如螺母的顶墩成形（见图 1-12），即使形成的纵向飞刺也只能允许很小的高度。

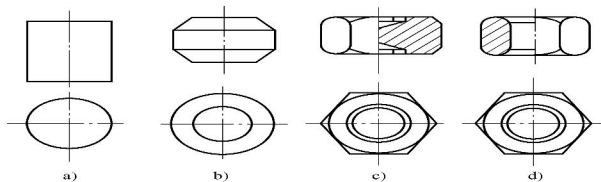


图 1-12 螺母顶墩成形

a) 下料 b) 墩粗 c) 压角 d) 冲孔

目前，闭式模锻是胎模锻和螺旋压机模锻生产短轴线类锻件的主要模锻方法，也是平锻机、液压机和高速锤上使用的主要模锻方法。模锻锤和锻压机上的闭式模锻，由于存在一些尚未妥善解决的技术问题，目前在实际生产中应用还不广泛。

1.1.3 挤压成形过程和金属流动

挤压是金属压力加工中一种高效率而又精密的成形工艺。挤压是利用冲头的压入作用使金属产生定向塑性变形，流出模孔或流入一定的型槽，从而获得一定形状的锻件。

挤压实质是一种特殊形式的闭式模锻，只是在于闭式模锻是金属最后充满型槽，而挤压则是金属挤出端是处于自由状态。

1. 按照变形特点分类

(1) 正挤压 挤压时金属沿冲头运动方向流动，用于制造带头部的杆件或异形杆零件，也可以制造带凸缘的中空零件。

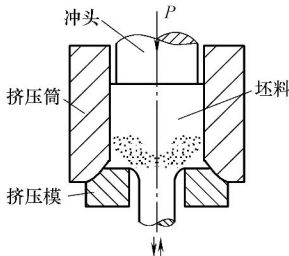
(2) 反挤压 挤压时金属沿与冲头运动相反的方向流动，主要用于制造各种圆形或异形孔的中空零件。

(3) 复合挤压 金属同时沿着冲头运动的顺方向和反方向流动，可以挤压形状较复杂的锻件，如油杯、空心排气门等。

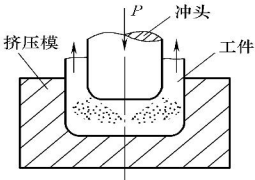
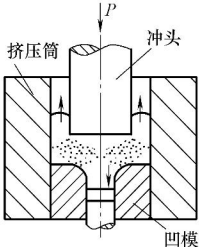
在整个挤压过程中，金属都处于流动状态中。正挤压、反挤压及复合挤压成形特点如表 1-1 所示。

为了计算工步的锻压力，首先要了解各种工步的力能特性。正挤压工步一开始，挤压力就迅速增加到最大的突破力 P_0 ，随后稳定地略有下降，而反挤压则略有增大，如图 1-13 所示。

表 1-1 正挤压、反挤压及复合挤压成形特点

工步名称	模具形状和塑变区	坯料及挤压件形状
正挤压		放在挤压筒内的坯料在冲头压力的作用下挤过凹模，截面缩小，或加芯棒挤成管件，如发动机的汽阀或汽车的转向节。金属流动方向和冲头运动方向相同

(续)

工步名称	模具形状和塑变区	坯料及挤压件形状
反挤压		放在挤压模内的坯料，在冲头压力的作用下，挤出杯形形成空心圆筒形锻压件。金属流动方向和冲头运动方向相反
复合挤压		放在挤压筒内的坯料，在冲头压力作用下，金属一部分挤过凹模向前流动，一部分由冲头周围向后流动，既有正挤，同时又有反挤

2. 按挤压时坯料是否加热及加热温度的高低分类

(1) 热挤压 热挤压是将坯料加热到再结晶温度以上进行的挤压。当热挤压在速度较低的设备（如液压机）上进行时，坯料温度应尽可能接近锻造温度的上限；当在速度较高的设备（高速锤）上进行时，因挤压件温升严重，容易引起过烧及开裂，所以应使坯料温度比锻造温度低 50 ~ 100℃。

(2) 冷挤压 冷挤压是指在再结晶温度以下进行的挤压。冷挤压时变形抗力比热挤压高得多，但表面粗糙度值低，冷挤压前应先对金属进行软化，降低变形抗力，并进行表面磷化和皂化处理改善表面成形条件。冷挤压广泛地用于机械零件、金属制品和电器元件、壳体的生产。

(3) 温挤压（或半热挤压） 它是介于热挤压与冷挤压之间的一种挤压方法，

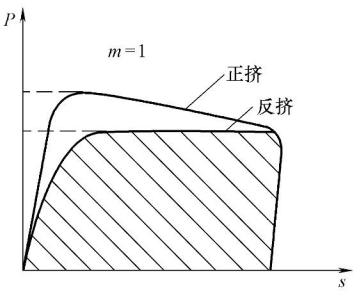


图 1-13 正挤压、反挤压
工序的力-行程曲线

所需变形力高于冷挤压而低于热挤压；所得挤压件的表面粗糙度值虽略高于冷挤压，但较热挤压低得多。温挤压不仅可用于合金工具钢模具型槽的挤压，而且对适于冷挤压的中碳钢零件毛坯也可采用温挤压。

可以进行挤压工艺的设备较多，不仅在精压机、高速锤、水压机、曲轴热模锻压力机等设备上能进行挤压，而且在普通的摩擦压力机、曲轴冲床等上面也可以进行。

用挤压工艺生产零件，因为在挤压时坯料三向受力，能提高金属的塑性，因此可以负担某些锻造、轧制所不能胜任的低塑性金属的压力加工工作，在冶金厂也用于生产某些有色金属的型材。挤压可以保证金属纤维不被切断且沿零件轮廓分布。挤压增加了变形程度，能获得细晶粒，提高了零件的力学性能，从而延长了零件的使用寿命。

1.2 模锻生产

模锻生产是广泛涉及生产、管理、经济、技术和工艺装备诸方面的综合性问题。

1.2.1 模锻工艺过程

从原材料到生产出锻件，需要经过一系列的生产工序，这一系列生产工序构成的锻件生产过程，称为模锻工艺过程。模锻工艺过程是锻造车间整个生产过程中的一个重要组成部分。正确认识、分析和研究模锻工艺全过程，对于结合具体生产条件，合理地制订模锻工艺有非常重要的意义。

1. 模锻技术内容

(1) 模锻的工艺过程 模锻的工艺过程包括模锻件图的制订、坯料的计算、工序的确定和锻模的设计、模锻设计的选择、坯料的下料和加热、模锻变形工序，以及模锻件的整理工序（切边、冲孔、校正及热处理等）。因此，模锻的工艺过程主要是关于模锻件生产的次序和具体生产技术方面的问题。

从生产次序上看，原毛坯经过一系列加工工序制成模锻件，这些有机联系的加工工序构成模锻生产工艺过程。

1) 备料工序。一般只是按变形工序要求的规格尺寸（或重量），将4~6m长的原材料切割成单件的原毛坯。特殊情况下，还包括原毛坯表面的除锈、防氧化和润滑处理等。

2) 加热工序。按变形工序要求的加热温度和生产节拍，加热原毛坯或中间坯料。

3) 变形工序。即锻造工序，可细化为制坯工序和模锻工序两种。制坯的方法比较繁多，模锻工序只分为预锻和终锻。变形工序是根据锻件类型利选用的模锻设

备确定的。工序数目有多有少，但终锻工序是必不可少的。

4) 锻后工序。这一类工序的作用是补充完成模锻工序和其他前期工序的不足，使锻件最后能完全符合锻件图（包括技术条件）的要求。这类工序包括有：切边、冲孔、弯曲、扭转、热处理、校正、表面清理、磨残余毛刺、精压（又称压印）等。

5) 检验工序。分为工序间检验（又称作中间检验）和最终检验。工序间检验一般为抽检，并应发动生产工人自检，这对于避免造成成批的废次品和返修品是完全必要的。检验项目包括有：几何形状尺寸、表面质量、金属组织和力学性能等方面，具体的检验项目根据锻件的要求确定。

图 1-14 为一般的模锻工艺流程（工序组成的顺序）图。对于不同设备、不同锻件的工艺流程，要根据具体情况，对上述工艺流程中的工序有所合并和削减，但组成工序的顺序一般不会有大的改变。模锻生产组织按工艺流程一般划分为备料、模锻（包括加热、锻造、切边和冲孔、热校正等工序）和热处理（包括清理、冷校正、冷精压等工序）三个车间（或工段），通常由加热设备、模锻设备、切边设备（有时还包括有制坯设备和热校正设备）按工艺流程组成一个模锻机组。

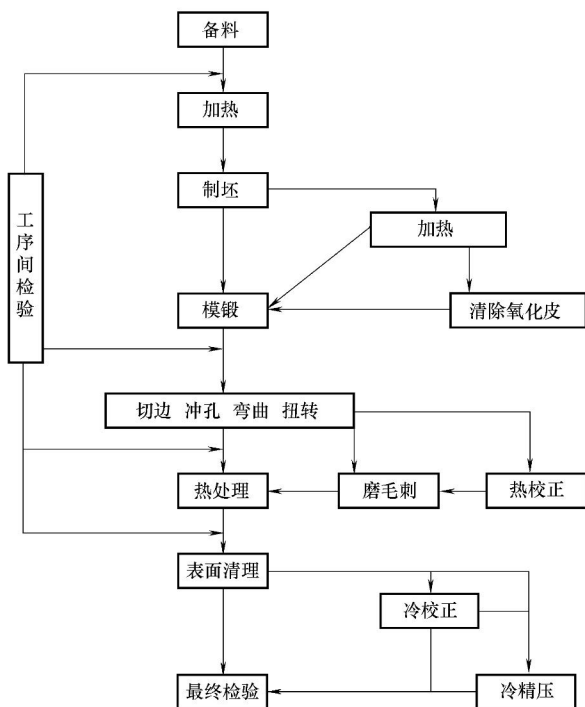


图 1-14 模锻工艺的一般流程

(2) 模锻技术工作内容 模锻技术工作内容主要包含工艺设计与生产服务(现场技术)两方面的工作。

1) 工艺设计。生产前的技术准备工作,其具体任务如下:

①根据零件产品的技术要求和生产批量,结合具体的生产条件,合理地选择模锻工艺方案。

②设计锻件图。

③确定模锻工艺流程——确定变形工序及其使用的模锻设备(包括制坯设备),确定其他各工序的工艺规程和使用的设备。

④设计变形工序及其他各工序使用的专用工模具——包括锻模、切边模、校正模、精压模等。

制订模锻工艺规程,包括设计锻件图、选择模锻工艺、确定锻造设备技术规格、坯料尺寸和模具设计。设计锻件图和选择模锻工艺为同时交叉进行,锻件图是选算模锻工艺的基本依据,而锻件图的设计又必须充分考虑不同模锻工艺方案的影响。

2) 生产服务工作。在模锻生产中经常会出现各种问题,如锻件几何尺寸精度问题、表面缺陷问题、内部质量问题、锻模寿命问题等,分析问题产生的原因,找出解决问题的措施和方法,是生产服务的经常性工作。即使对于比较稳定的生产工艺,按照“多、快、好、省”的要求,也还有不断提高和改进的可能,这也应是生产服务工作的任务。锻造工艺人员不仅要熟悉模具的设计,而且还要熟悉热模锻工艺过程。

从完成工艺设计到投产,中间必须经过工艺调整和试生产,以暴露问题和解决问题,这既是工艺设计工作的延续,也是生产服务工作的任务。生产既是工艺设计的基础,又是工艺设计的服务对象。因此,从某种意义上说,生产服务工作较之工艺设计更重要。

2. 型槽及变形工步

模锻成型是把形状简单的原始坯料,经过制坯型槽、预锻型槽、终锻型槽的连续的锻造变形,加工成所希望的最终形状。制坯型槽的作用是改变原坯料的形状、按锻件结构特点合理分配重量和体积;预锻型槽的作用是局部范围内调整制坯形状、为坯料充满终锻型槽作好形状准备;终锻型槽的作用是将制坯后的坯料锻成所要求的形状和尺寸的锻件。坯料逐次在锻模的每一型槽(见图 1-16)中的变形过程就称为模锻工步。坯料在锻模的每一个型槽中的变形过程与使用的型槽名称相同,例如在滚压型槽中滚压就称为滚压工步。模锻件成形以型槽内金属变形为特征,模锻过程的金属流动是靠模具形状来控制的,模锻件的形状和尺寸是靠模具的形状和尺寸来保证的。模锻件在成形步骤上必须满足金属在型槽内成形并充满型槽的特点。



图 1-15 连杆逐步变形的过程

1—坯料 2—拔长、滚压 3—预锻 4—终锻 5—切边

每类锻件都需要终锻工步。而预锻工序则应根据具体情况决定是否采用，例如模锻时容易产生折叠和不易充满的锻件常采用预锻工步。每类锻件所需的制坯是不同的，例如直长轴类锻件常用拔长、滚压、卡压等制坯工步；而弯轴类和带枝芽的锻件除需采用第一类制坯工步外，还需采用弯曲、成形等制坯工步；短轴类锻件一般都采用镦粗等制坯工步。顶镦类锻件常用的制坯工步有积聚和冲孔等。此外还有弯曲、压扁等。在使坯料逐渐接近最终形状的过程中，要考虑锻件的形状和复杂程度、材料的变形能力、材料的流动特性、节约用料以及模具寿命等问题。

模锻型槽的特点和作用见表 1-2。

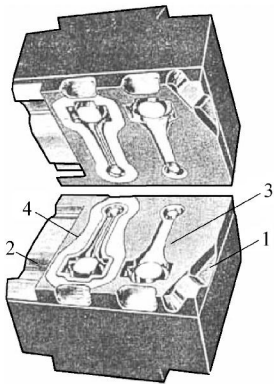
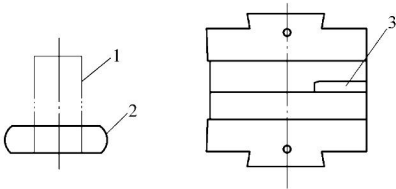


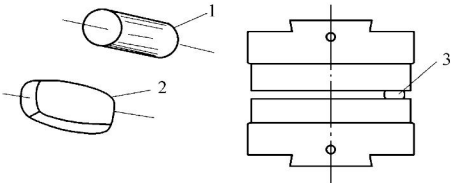
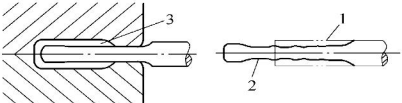
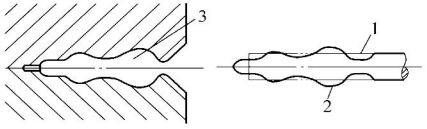
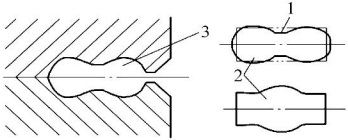
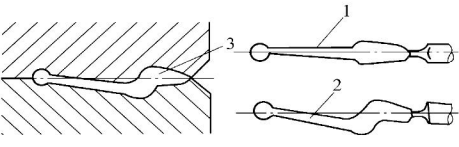
图 1-16 连杆成形型槽

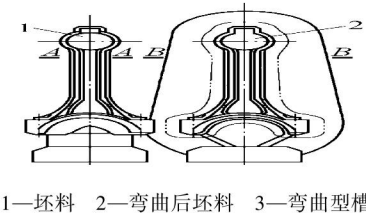
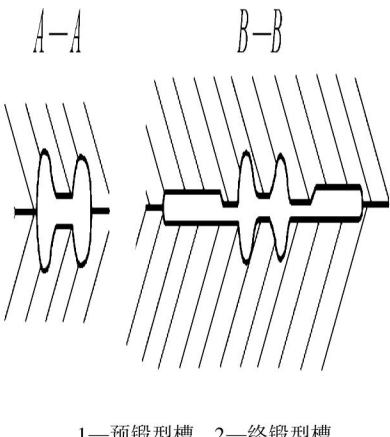
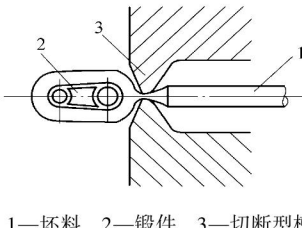
1—拔长型槽 2—滚压型槽
3—预锻型槽 4—终锻型槽

表 1-2 模锻型槽的特点和作用

类 别	名 称	简 图	用 途
制坯型槽	镦粗	 1—坯料 2—镦粗后的坯料 3—镦粗型槽	减小坯料高度，增大直径

(续)

类 别	名 称	简 图	用 途
制坯型槽	压扁	 1—坯料 2—压扁后坯料 3—压扁型槽	增大坯料宽度
	拔长	 1—坯料 2—拔长后坯料 3—拔长型槽	减小坯料部分长度上的截面，增大其长度
	滚压	 1—坯料 2—滚压后坯料 3—滚压型槽	减小坯料部分长度上的截面，增大另一部分截面，总长略有增加
	压肩（卡压）	 1—坯料 2—卡压后坯料 3—卡压型槽	增大坯料部分长度上的宽度，截面略有变化
	成形	 1—坯料 2—成形后坯料 3—成形型槽	局部转移金属，以符合锻件水平投影形状

(续)			
类 别	名 称	简 图	用 途
制坯型槽	弯曲	 1—坯料 2—弯曲后坯料 3—弯曲型槽	改变坯料轴线形状，以符合锻件水平投影形状
	预锻	 1—预锻型槽 2—终锻型槽	获得与终锻相近的形状，以利于锻件在终锻型槽中清晰成形，防止产生折纹和提高终锻型槽寿命
模锻型槽	终锻		最后获得锻件
切断型槽	切断	 1—坯料 2—锻件 3—切断型槽	将锻件与坯料分离

3. 体积分配和中间形状

模锻成形有点类似于铸造时液态金属充满型模的过程，所不同的是模锻成形是金属的固态流动，金属坯料存在着很强的保持自身形状的能力，同时，金属的流动受型槽中流动阻力的限制，因而，并不是随便一块坯料放到型槽中都能锻成型槽形状的锻件（见图 1-17）。在实际生产中，对于较复杂的锻件，坯料不可能在预锻和

终锻型槽中直接成形。为了终锻模锻时金属能很好地充满型槽，必须预先在制坯型槽内将等断面的型材或钢锭锻出与最终形状相应的中间坯料形状，完成坯料的重量和形状分配，形成锻件雏形。

(1) 体积分配 体积分配是指产生一种横断面与最终形状的横断面相一致的中间形状。一般短轴形状的模锻件坯料（采用短的坯料或棒料），主轴线与变形方向相同，成形镦粗时能朝各个方向流动并均匀地充满型槽。但模锻较高的轮毂和销轴等时，就不能不考虑体积分配了，需要预镦粗或成形镦粗后再放到终锻型槽

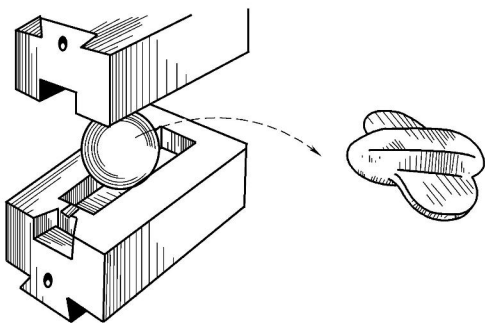


图 1-17 未经制坯毛坯直接在锻模中锻造

中成形。对于断面变化的长轴类锻件，由于长度与宽度（平均值）之比值较大，其变形流动为平面流动，轴向流动非常困难。在预锻模槽或终锻模槽中变形时，金属沿锻件长度上不能作长距离的流动。所以当锻件长度上的横断面积相差较大时，必须预先用拔长或滚挤等工步来改变坯料形状。同时，在模锻过程中，如要充满型槽并获得具有小而均匀飞边的锻件，那么就需要有一种较为理想的中间形状。

(2) 体积分配图 要求毛坯长度与锻件相等，而其上各横断面面积又等于相应长度上锻件横断面面积及飞边面积之和。体积分配图用于长轴类锻件，为了在轴线合理分配金属的重量。

在最终形状图上按适当的间隔距离量出垂直于纵轴线的断面尺寸，并标在分配图的长度坐标上，同时考虑到这些断面上的模锻斜度和圆角半径。将各个测量点连成一条光滑曲线，该曲线以下的面积代表着最终形状的体积，据此就可计算出重量。如已知锻件的重量，这种计算就可以用来检查体积分配的正确性，其具体的计算和作图方法见 2.2.4。

接着，在图中再标出必要的飞边断面，并同样连成一条光滑曲线。如此，中间坯料的断面便确定了，据此即可设计中间坯料的形状。

(3) 中性线 中性线是锻件断面重心连线，主要适用于长轴类锻件，特别对于制坯弯曲有拉长现象，弯曲或成形后需要翻转 90°放入预锻、终锻型槽的锻件。通过弯曲或扭转，使中间形状和最终形状

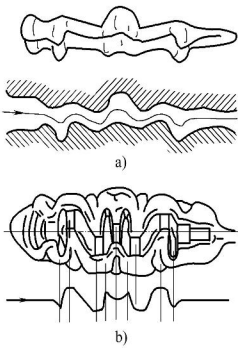


图 1-18 曲轴中间弯曲形状
a) 中间弯曲形状和中间弯曲中心线 b) 终锻形状和终锻中心线

的主轴线相一致。(见图 1-18)。

简单截面的型槽如圆型槽、椭圆型槽、方形型槽和菱形型槽等的中性线，与这些断面的对称轴相重合。

对于非对称的、断面形状比较复杂的型槽，其中性线常用以下两种方法确定：

1) 等面积法。型槽的中性线是型槽断面积的水平平分线，即在型槽断面上下面积相等处划水平线即为其中性线。此法比较简单，但实际应用效果不够理想。

2) 重心法。通过型槽断面的重心划水平线，即为型槽的中性线。可用计算法确定重心，也可用吊线法确定重心。所谓吊线法是用硬纸板剪出型槽样板，用线拴起使其平衡，找出断面重心位置。

现在，应用计算机辅助设计可轻松求出截面中心。

1.2.2 模锻车间和机组

1. 模锻车间规划

模锻车间除了直接从事锻造生产的锻造工段外，还应有其他的附属部门（如下料、热处理和质量控制）和辅助工段（参考图 1-19）。

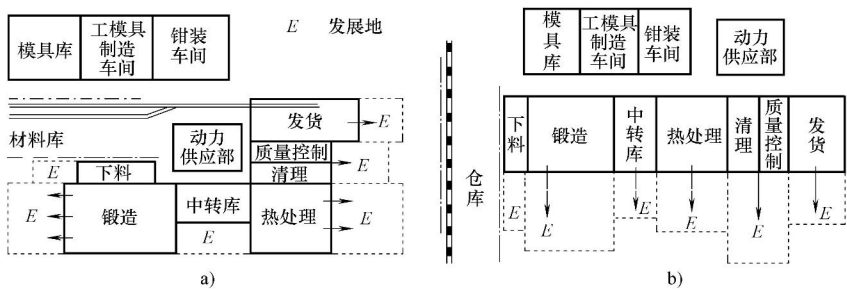


图 1-19 锻造车间规划

a) 独立发展 b) 各部门同时发展

锻造车间的规划，必须考虑到下述问题：

1) 流转方便。设备都应该安排在行车道路的两旁，材料需要量最大的设备安排在运输工作量最小的位置上，避免经过别的工作地才能到达某台设备的布置方式。运输路线短而宽阔，材料流转流程应保持连续，主流线的几何形状是无关紧要的，即使运输路线长一些也可以。避免工厂的总平面布置图复杂化，以致干扰生产的进行。

2) 进出合理。从外面运入的材料和运出到外面产品的生产道路要安排合理，运进和运出可以靠得很近，甚至部分地结合在一起也是可能的，例如钢坯车间的桥式起重机可以帮助装运成品锻件，或者发货用的叉车也可以用于卸货。

3) 自由发展的可能性。企业各部门在发展时,每个部门都应该能够自由地扩大,保持交通路线原来的走向,可以避免部门或成套的设备搬迁而付出高的成本。

2. 生产组织

模锻车间按模锻的生产工艺流程,一般分为四个工部(或工段)。四个工部一般包括以下工序:①切断钢材(或钢坯)至一定尺寸;②加热坯料;③模锻;④切边;⑤热校正;⑥锻件冷却;⑦打磨毛刺;⑧锻件热处理;⑨精理锻件的氧化皮;⑩冷校正(或精正);⑪检验等。

上述工艺过程,并非所有模锻件都必须全部采用,除①~④以及⑪为任何模锻过程所不可缺少的环节外,其余工序的采用,则应按锻件的具体要求而定。

1) 备料工部。它包括工序①的下料和制坯,对于形状简单的锻件只需按规格尺寸切断原材料,然而对于形状复杂,断面变化大的大型模锻件(多为航空锻件),需要在自由锻锤上打荒(即用自由锻锤锻出接近于模锻件外形的荒坯称为打荒),打荒工序也应在此工部完成。

2) 模锻工部。它包括工序②、③。通过这两道工序直接改变原坯料的形状,以得到所要求的形状、尺寸的模锻件,同时还包括④、⑤、⑥、⑩各工序。这些工序对锻件不会有多大变形,只是在基本工序不能达到要求的形状、尺寸时,才借助这些工序来进一步达到。

3) 热处理、清理工部。它包括工序⑦、⑧、⑨。通常由模锻工部将锻件转入本工部进行热处理,清理与精整锻件。目的在于清除模锻后的缺陷(折叠、裂纹、毛刺等)和热处理后的氧化皮。

4) 检验工部。即工序⑪,质量检查部门对成品锻件进行技术检验,清除不合格的锻件或废品。

3. 模锻机组

模锻机组至少包括一台加热设备和一台变形设备。安装什么样的变形机械和加热设备是由许多因素决定的,而根据企业的具体情况,这些因素的重要性是不同的。

- 1) 运输路线连续,考虑运输方式对工作面积的要求。
- 2) 考虑减振因素。
- 3) 装卸工具模具时,有良好的可以接近设备的通道。
- 4) 操作设备的全部活动空间和良好视野。
- 5) 考虑加热炉或锻件堆放地产生热辐射的危害作用。

影响因素是多方面的,解决问题的途径当然也有许多。如果从锻件流动的路线看,可以有多种安排:纵向延伸式(见图 1-20a)、半圆环式(见图 1-20b)、分叉式(见图 1-20c)和双列式(见图 1-20d)等。

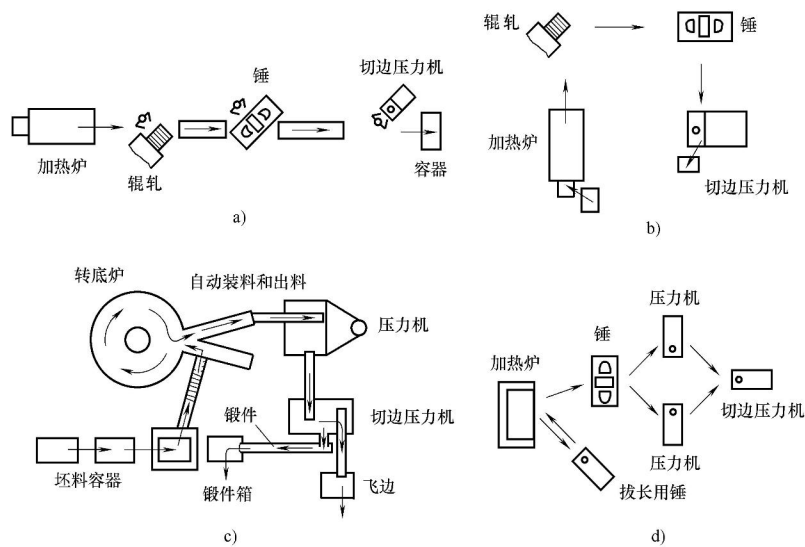


图 1-20 设备排列方式
a) 纵向延伸式 b) 半圆环式 c) 分叉式 d) 双列式

在生产率很高的情况下，工作路线哪怕缩短一点点，也会带来明显的时间节约。同时锻件堆放地是一个重要的问题，特别是当设备组的能力较小的情况下，应该考虑：锻工能否迅速而安全地搁放锻件？锻工是否会受到严重的热辐射？是否对运走锻件的工作造成不必要的困难？

模锻机组由模锻设备与其配套设备组成，对于生产多品种锻件机组，一般有以下四种设备组合方式：

1) 模锻锤机组。一般包括连续加热炉、模锻锤与切边压力机三台设备，并配有传送带、运输桥式起重机等辅助设备。设备的布置如图 1-21 所示，加热炉布置在锻锤操作工人的左方，切边压力机在其右方。

2) 摩擦压力机模锻机组。与模锻锤机组的不同之处是，在加热炉与摩擦压力

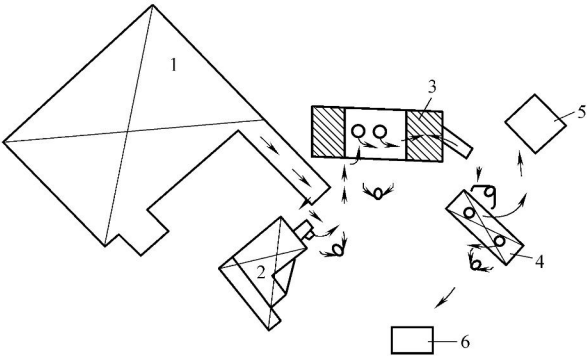


图 1-21 热模锻压力机设备布置
1—感应加热器 2—辊锻机 3—热模锻压力机
4—切边压力机 5—飞边存放箱 6—锻件存放箱

机之间布置有必要的制坯设备，一般采用空气锤或辊锻机进行制坯。

3) 热模锻压力机模锻机组。一般由加热炉、辊锻机、热模锻压力机和切边压力机四台设备组成（见图 1-21）。

4) 平锻机模锻机组。由加热炉、平锻机两台设备组成。

上述四种模锻机组是为了适应多品种锻件生产而采用的设备组合方式，对于进行单品种大量生产的专用机组，其设备组合方式应根据锻件的工艺特点而决定。例如，专用于曲轴模锻锤机组，常需与平锻机组成联合机组；又如，专用于生产汽车齿轮、前轴和曲轴的热模锻压力机模锻机组，可不设置辊锻机与切边压力机，而是在热模锻压力机上完成制坯、预锻、终锻和冲孔等全部工步（见图 1-22）。

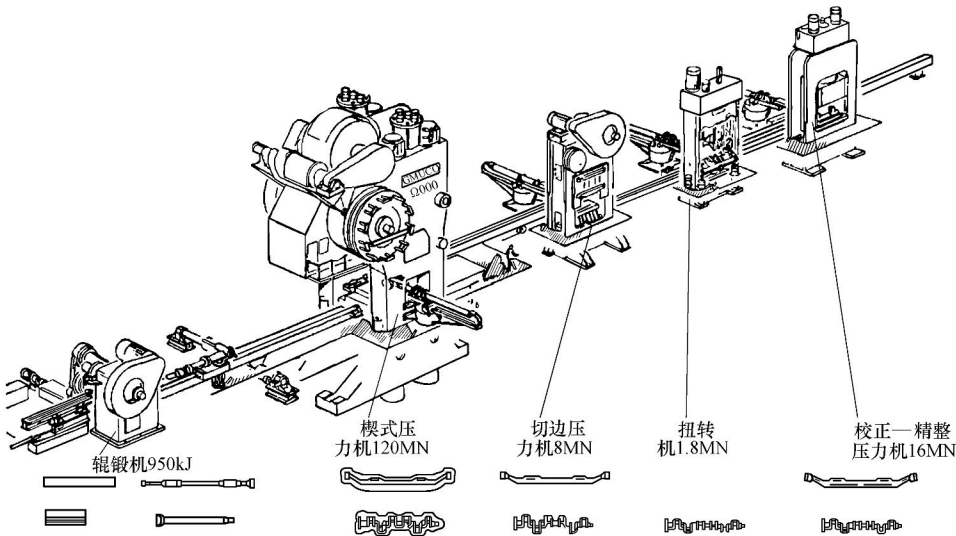


图 1-22 热模锻压力机自动化生产线

1—辊锻机 950kJ 2—楔式压力机 120MN 3—切边压力机 8MN
4—扭转机 1.8MN 5—校正—精整压力机 16MN

1.2.3 模锻设备

模锻件的形状与尺寸是确定所需设备的种类、型号、大小与吨位（或公称压力）的主要因素。每种锻压设备都有其适合的典型锻件，这些典型锻件在这种设备上模锻是最合理的。因此，就有典型的锤锻件、平锻机锻件、热模锻压力机模锻件、摩擦压力机锻件等。掌握了这些锻件的形状特征，以及熟悉了模锻设备的工作原理、工作部分的运动速度与特性、模具紧固以及有无顶料杆等，即可非常容易地选择所需设备的类型。

成形设备的分类：①锤类。它包括蒸汽-空气模锻锤、粗杆锤、对击锤（无砧座锤、高速锤）、落锤（夹板锤、带锤、链条锤）、液压锤等。②曲轴压力机类。它包括热模锻压力机、平锻机（垂直分模和水平分模的平锻机）、精锻机等。③螺旋压力机类。它包括一般摩擦压力机、液压螺旋压力机、电动螺旋压力机等。④液压机类。它包括一般模锻压力机、多向模锻液压机等。⑤特殊及专用模锻设备。它包括辊锻机、扩环机、斜横轧机等。

切边设备的分类：切边设备分为曲轴压力机和液压机两类。对于中小型的模锻件常采用曲轴压力机配合切边，对于大型模锻件多选用液压机进行切边。但在实际生产中，也有用摩擦压力机或其他设备进行切边的情况。

设备选用与锻造工艺非常密切的关系，如表 1-3 所示。模锻设备的合理选用，主要由生产的实用性和经济性所决定的。对于大批大量的模锻件宜选用热模锻压力机；对于中小批量模锻件和小型复杂件宜选用有砧座模锻锤；对于难变形材料的大、中型锻件宜选用对击锤；对于对称形精密锻件宜选用螺旋压力机；对于大型轻金属模锻件在液压机上成形最适宜。以上原则并不是绝对的，各工厂根据现有设备的实际情况可灵活选用，同时还要考虑模锻设备的能力特性、时间特性和精度特性。

表 1-3 设备模锻工艺特征

工艺类别	设备名称	设备特点				工艺特征	劳动条件	生产率	适用条件
		行程次数 /(次/min)	工作速度 /(m/s)	维修 工作量	顶出 装置				
锤上模锻	有砧座锤	高 60~100	较高 6~8	大	无	行程不固定，打击轻重可以控制，便于进行拔长、滚压；适用于各类锻件；多采用带飞边开式模锻，很少采用无飞边闭式模锻	繁重	高	大批
	无砧座锤					上下模双向对击，操作较不便，不宜于拔长、滚压；适用于大型锻件单槽模锻			
热模锻压力机模锻	热模锻压力机	较高 35~90	较低 0.5~0.8	不大	上、下顶出装置	行程固定，金属在每一型槽中成形一次，不宜拔长、滚压，但可用于挤压；锻件精度较高，模锻斜度较小，易于机械化自动化，但氧化皮不易去除，最好采用电加热；适用于短轴类锻件，配备制坯设备（加辊锻机）时，也能模锻长轴类锻件，多采用开式模锻模	好	高	大批大量

(续)

工艺类别	设备名称	设备特点				工艺特征	劳动条件	生产率	适用条件
		行程次数 /(次/min)	工作速度 /(m/s)	维修 工作量	顶出 装置				
平锻	平锻机	较高 27~80	较低 ≈0.3	不大	无	具有互相垂直的两组分型面，行程固定，金属在每一模膛中成形一次；除积聚、镦粗外，还可切边、穿孔；余量及模锻斜度较小，易于机械化自动化；为使棒料能在凹模中夹紧，而采用较高精度的棒料，适用于短轴类（凹齿、穿孔）锻件、长轴类（法兰轴）锻件和管坯锻件，多采用闭式模锻，也用开式模锻	较好	较高	大批大量
螺旋压力机上模锻	摩擦螺旋压力机	低 10~40	较低 0.5~1.2	不大	下顶出装置	行程不固定，打击能量可调，每分钟行程次数低，金属冷却快，不宜拔长、滚压，对偏载敏感；一般用于中小型锻件单型模锻，配备制坯设备（如空气锤）时，也能模锻形状较为复杂的锻件；除模锻外，还可用于镦锻、精锻、挤压、冲压、切边、弯曲、校正等；当所需吨位大于10000kN时、以采用液动螺旋压力机为宜	好	较高	中批

(1) 能力特性

1) 模锻设备能力的表示方法

①一般机械压力机和液压机用公称压力（kN）表示。由于曲轴类压力机在不同的曲轴转角下，承受的负荷是不同的，所以公称压力仅是在一定转角（通常称“公称压力角”，它是自下死点返回推算）范围内设备所能承受的负荷。热模锻压力机的公称压力角一般为2°~5°，普通压力机的公称压力角稍大一些。对于液压机，原则上全行程都可以给出压力值。

②对击锤（无砧座排及高速锤）用打击能量（kJ）表示。

③有砧座锤习惯用落下部分重量（t）表示。对同一落下部分重量来说，如果锤头的速度不同，打击能量也是不同的，因此这种方法局限性较大。

④螺旋压力机是介于锤和压力机之间的模锻设备，通常给出两方面的数据。例如，10000kN摩擦压力机，同时还给出最大打击能量为160kJ。

2) 锻造设备能力大致的折合关系

①落下部分重量与打击能量的关系。对于蒸汽-空气模锻锤打击速度基本上是

一致的，每吨落下部分重量所对应的能量为 25kJ。例如，5t 模锻锤的打击能量为 125kJ。

②落下部分重量与公称压力的关系。在工程中大致认为，模锻锤每 1t 落下部分重量相当于 10000kN 压力机或 3000kN 摩擦压力机。例如：5t 模锻锤相当于 50000kN 压力机或 15000kN 摩擦压力机。

3) 锻造设备能量特性。机器的特性包括全部设计数据和性能参数，这些数据与有效地使用设备密切相关。对于给定的工艺，需要用这些数据来最合理地选择设备的种类、载荷和能量特性。有效能量 (E_m) 是机器在一个全行程为完成锻件变形所提供的能量，完成一个锻造工艺必须满足以下两个条件：

①在工作行程的任一瞬间，机器的有效载荷 (L_m) 和锻造所需要的载荷 (L_p) 的关系应该是： $L_m \geq L_p$ 。

②整个打击过程中机器的有效能量 (E_m) 和锻造所需要的能量 (E_p) 的关系是： $E_m \geq E_p$ 。

(2) 时间特性 为保证锻造生产率，必须考虑设备每分钟的行程次数 (n_0)，一次成形还是多次成形，以及企业锻造生产的习惯和节奏。

(3) 精密度特性 包括：

- 1) 导轨间隙。
- 2) 上、下工作台面的不平行度。
- 3) 滑块运行方向相对于工作台的垂直度。
- 4) 模座的同心度。
- 5) 压力机的刚性 (度)。

总之，模锻设备是为模锻工艺服务的，模锻变形工艺及锻模结构必须适应所使用模锻设备的工作特性和结构特点。

1.3 模锻工艺方案选择

制造一个模锻件，首先需要工艺方案。

1.3.1 工艺方案选择

模锻件的工艺方案就是根据所要制造机器零件的形状尺寸和性能要求，结合生产批量和实际条件，拟出用什么规格的金属原材料，选用哪一种模锻设备，采用哪些工步和工艺装备，把需要的锻压件制造出来的工艺流程的方案。一个零件可以有多种生产方法，但在其中选择一种最好的方案颇为不易。应该先拟订两个或更多的适当的工艺方案，然后将这些方案进行技术—经济分析，以便得出最后结论，在明确哪一方案最合理的时候，要将各种方案工艺过程的主要指标加以比较。所谓主要

指标首先是：①金属的消耗；②随后进行机械加工的劳动量以及计入切削金属量后的费用；③锻造工序的生产率和劳动量，首先是主要模锻工序的生产率；④模锻时的管理费用，首先是模具消耗的费用。

(1) 零件在使用中的强度要求 选用零件的制造方法，需考虑零件的强度、复杂程度、表面粗糙度和精度等方面的因素。强度要求不高，而形状复杂，则用铸造方法；形状较简单，强度要求较高，则用锻造方法。如飞机轴的形状虽很复杂，但因铸造不能保证强度，所以仍采用锻造方法制造。锻造与机械加工联合应用，可获得表面粗糙度值很低和精度很高的零件。

(2) 锻件的年产量 采用何种锻造方法，取决于锻件的年产量。产量很小，用自由锻；产量较小，用胎模锻；产量较大，用模锻；产量很大，可用专用模锻生产线。

(3) 零件的形状、尺寸和技术条件 模锻采用的设备类型主要取决于零件的形状，也就是说，每一类型的锻压设备都有其合理的典型锻件。

1) 模锻锤：适合锻造齿轮、轴类、连杆及形状复杂的弯曲件和叉形件。

2) 热模锻压机：适合锻造齿轮及断面变化不大的长轴类。若在锻压机上配以辊锻机，断面变化很大的长轴件也可锻造。

3) 平锻机适合锻造带杆的局部锻粗件和带孔的锻件。

(4) 技术条件零件图上的技术条件也在一定程度上决定了模锻工艺路线。

零件的材料：在决定下料工艺、加热温度、冷切边或热切边、热处理工艺时要考虑。

零件的尺寸和精度：在决定加工余量和锻件公差时要考虑。

零件要求的硬度：在决定热处理工艺时要考虑。

零件的表面粗糙度：决定是否采用机械加工或压印时考虑。

零件的形状、尺寸、材料、硬度等综合因素决定了所采用的清理方法。

(5) 现场设备条件尽管某一类型的设备有其合适的典型锻件，但也要根据具体条件而定。如某锻件在平锻机上模锻比较合适，但车间没有平锻机，且产量不大，则可改在别的设备上模锻。

在选用模锻方法时，必须避免盲目追求所谓技术上的“先进”和单纯的经济观点，必须结合具体的生产条件，而且要看生产条件的变化和发展。例如热模锻压机上模锻，虽然有劳动条件好、便于实现操作的机械化和自动化、劳动生产率较高、锻件精度较高和模具寿命高等长处，但它的设备一次投资太大，对于多数中小型工厂，其投入和产出并不一定适宜。又比如胎模锻，虽然它在技术经济的较多方面比其他方法差，但它的模具结构简单、制造周期短、上马快、可以利用较小吨位的自由锻锤，对于中小批生产来说，总的经济效果较好。此外，采用一些简易的机械化装置，可以使胎模锻的劳动条件得到一定程度的改善。对于上述常啮合齿轮锻

件,若改用1~1.5t自由锻锤进行胎模锻,可以一火锻成,从而使劳动生产率、金属材料利用率和锻件内部质量有所提高。

1.3.2 模锻经济技术分析

经济技术分析包括技术分析(技术参数)和经济分析(经济参数、经济效益)两方面的内容。模锻技术的每个环节都涉及经济问题。分析锻造生产的技术经济问题,要涉及品种、批量、市场、资金、价格、材料、燃料、动力等因素。在解决某种方案是否有利的问题时,一般只要进行大致的计算就足够了。但是在个别情况下,被比较的工艺过程方案须进行极其细致的研究和技术经济分析,计算出各种方案完成制件的费用。对于每种比较方案都要制订锻件图、选定模锻工步、确定坯料尺寸、选用适当设备、制订工艺,也还要设计出相应的模具。这些都离不开工艺分析、成本与利润分析。

工艺分析是工艺方案的技术经济分析的首要的和基础环节。其任务可以归结为:根据零件的功能特征、材质、形状、尺寸精度、品质要求和生产批量,在已有的或可以获得的设备、装置、工具、能源、检验手段、管理水平和人员素质的条件下,提出可供采用的各种加工方法。

(1) 工艺分析需要考虑的问题

- 1) 能否满足零件的功能。
- 2) 能否满足图样技术条件和质量标准。
- 3) 锻件结构是否合理。
- 4) 加工余量是否可以减少。
- 5) 有无多余的敷料。
- 6) 变形力或变形功能不能降低。
- 7) 金属流线是否符合要求。
- 8) 保证质量的工序有无遗漏。
- 9) 工序和工步是否已经最少。
- 10) 材料利用是否充分,有无可能与其他零件联合锻造,一模多件或一坯多件。
- 11) 是否可考虑冷锻、精锻、摆碾、轧制、局部模锻、分段模锻、联合模锻、锻焊等先进工艺。

(2) 工艺分析 用框图做出可供选择的若干个工艺方案,分析各个工艺方案的优缺点,应提供的数据有:①锻件重量;②毛坯尺寸与重量;③材料消耗量;④变形力或变形功;⑤加热温度;⑥设备规格;⑦生产节拍及生产率;⑧设备数;⑨人员;⑩面积;⑪动力、燃料消耗量;⑫辅助材料消耗量;⑬模具消耗量。分析要求把零件的锻造过程看成是从材料准备到成品检验统一的系统。这个系统包含工艺

过程的确定,系列设备的选型,材料和能量的利用,生产组织与劳动消耗,模具与辅助装置,锻件成本和机械加工成本,成品本身的质量和对加工后零件质量的影响,所需投资和生产流动资金,锻件生产的效益和零件生产的效益,生产方式对环境和社会的影响等若干方面。

(3) 技术工作和生产管理工作的内容 各种锻造工艺方案,由于工艺方法和设备精度不同,锻件的几何形状和尺寸有差异,所以在进行技术经济分析时,要逐个方案绘制锻件图。敷料的部位和尺寸不同,各部分的加工余量、公差、脱模斜度不同,因而不同工艺方案的锻件重量不同。此外变形方式的差异导致锻件的飞边和孔芯尺寸不同,加热方式的差异导致火耗的不同,因而毛坯重量不同。下料方式和采用原材料尺寸不同,材料消耗量亦不相同。由于原材料在锻件成本中的比例要占50%~80%,所以原材料消耗的多少对锻件生产的经济性影响很大。在技术参数中首要的是计算材料消耗量。

(4) 技术参数 包括变形力或变形功,主要设备的型号规格、配套设备;机械化运输设备;设备或生产线的节拍生产率和平均小时生产率,模具的尺寸和消耗量,动力和燃料消耗量;辅助材料,如润滑油、淬火液、清理铁丸等耗量;生产工人;生产面积,废品率等,进而计算设备数量。根据设备性能特点和生产率,计算各项消耗数据:材料、动力、燃料、辅助材料和模具。根据所选工序,考虑到生产组织,设备特性,确定生产所需的厂房面积,以及生产工人、辅助工人、技术和管理人员的人数。然后分析各种工艺的优缺点,如劳动条件,对环境的有害影响,对技术和劳动技能的需求等。

1.3.3 模锻工艺规程

1. 模锻工艺设计步骤

在工艺设计的过程中,必须对锻件结构、模锻工步、坯料尺寸和模具结构等做出决定,最后还须确定模锻所需设备的型号和大小,并使在主要设备上进行的模锻工序与其他锻工工序取得协调。因此在设计工艺过程时,锻件、模具的设计和计算是一项基本步骤。

其具体的工艺步骤如下:

1) 根据零件图制订锻件图(冷锻件图):根据所要制造零件的性能要求和形状大小特点,结合生产批量和工厂锻压设备条件,拟订出锻压工艺方案,并进行分析比较。

2) 根据所选工艺方案和零件图的技术要求,确定切削加工余量和公差,模锻时要选择分型面、圆角半径、锻模斜度、冲孔连皮,绘出冷锻件图。

3) 计算锻件的主要参数,锻件在平面图上的投影面积,锻件的周边长度、体积和重量等参数决定设备吨位。为了能分析比较,一般需用两个以上的不同公式进

行计算。

4) 计算坯料的体积和尺寸规格,设计需要的模具和工艺装备,制订出工艺规程。根据锻件图和模具图加工制造模具和有关工艺装备,做好备料和其他生产准备工作。

5) 绘制热锻件图,确定终锻型槽,并决定飞边槽的形式和尺寸。

6) 绘制计算毛坯图(用坐标纸)。

7) 选择制坯工步。

8) 决定坯料尺寸(应按标准规格选择),计算下料长度。

9) 设计预锻型槽。

10) 设计制坯型槽。

11) 模具结构设计:考虑是否采用锁扣、型槽布置和模块尺寸、模具的安装与调整、模具的起重运输、模具材料、加工及热处理等。

12) 绘制锻模图、切边模图等。

2. 模锻工艺规程

尽管各工厂的生产规模、生产条件、技术水平和产品类型等各不相同,术语和名词也互有差异,但其内容和要求大体上都是一致的。通常包括下列基本内容:①产品名称及生产纲领;②锻件图或锻件略图;③锻件用材料牌号、毛坯尺寸、形状和规格、材料消耗定额;④模锻过程、工序和工步顺序、必有的略图;⑤各工序或工步所用设备、工具和辅助工具等;⑥各种技术规范和定额(加热、冷却、热处理、酸洗、工时定额等);⑦劳动力配备及工地组织。

因此,模锻工艺规程是模锻车间最详细、最根本和最主要的工艺文件。

锻造工艺规程,应包括以下内容:

1) 产品型号、零件图号及其名称、零件的单台产品件数和左右件、锻件图号及其名称、锻件的单台产品件数、锻件重量、材料的牌号和规格、下料长度以及材料的消耗定额等。如果采用多件连锻工艺,还要注明连锻件数。

2) 下料工序中应说明所使用的下料设备及其型号和规格、下料工艺(例如是否需要加热和加热到多高的温度)和下料的技术要求。下料的技术要求中有切断面的表面粗糙度、圆度和垂直度(相对于纵轴)以及下料的尺寸公差或重量公差等,如果需要进行超声波检测,还应有倒棱的要求。

3) 加热工序中应规定加热炉的类型和规格、装炉数量和坯料在炉底上放置的方式以及加热温度、速度和时间等的的数据。

4) 锻造工序中除了规定所使用的设备类型和能力以外,还应说明坯料放入模槽的位置和坯料纤维相对于模槽的正确方向,锤击的轻重和次序,以及润滑和冷却模槽的要求等。有些难以用文字叙述清楚的内容,还应考虑用简图加以说明。

5) 切边工序中除了规定切边设备的吨位要求以外,还应规定锻件是在热状态

下切边还是在空温（冷）状态下切边。如果是前者，还要指出切边温度的上下限。有一些小批量生产的大、中型模锻件常常采用气割方法去除飞边，此时应提出气割时和气割以后关于清理的要求。

6) 清理工序中应注明清理方法。如果采用喷丸清理，要规定喷丸的材料和粒度。如果采用酸洗清理，要根据不同的锻件材料规定酸洗液的成分、浓度和温度等的参数。一般清理工序的最后，还要打磨毛刺和表面缺陷，所以也要规定打磨的要求。

7) 注明应进行检查的尺寸和使用的量具和检具、硬度值、按锻件类别规定的物理和化学试验项目及其他检验项目。同时，还要规定检查的制度，是全数检查还是抽样检查。如果是后者，还要给出抽检方案。

8) 必须注明各工序使用的设备型号和规格，以及使用的工艺装备的编号。

9) 有些工厂对锻造各工序制订了各种不同情况下采用的通用工艺规程，以节省制订每种锻件锻造工艺规程的工作量，对比在工艺规程中也应该注明适用的通用工艺规程编号。

锻造工艺规程必须按规定的格式填写，内容除正确以外，还要求完整、清晰和协调。

锻造工艺规程完整而系统地提供了锻件锻造时工艺过程的进行程序，以及工艺过程中原材料、设备、工具、劳动力配备和技术定额等一系列的技术数据与说明。所以它不仅是车间生产工人工作时的指南，而且也为车间计划、调度、检验、财务等经济管理部门提供了详细而可靠的原始数据。

3. 锻件图和锻造工艺规程的审批和修改手续

一般的工厂企业都规定锻件图上必须有下列人员的签名，方能生效。

- 1) 设计者。
- 2) 校对者。
- 3) 审核者。
- 4) 批准者。
- 5) 机械加工部门的代表。
- 6) 锻造及其质量控制部门的代表。

随着生产实践经验的不断积累和技术的不断进步，难免出现修改锻件图的必要性。但是，更改锻件图和锻造工艺规程是件十分严肃的事，必须要有依据。凡是修改图形、不加工尺寸及其公差和流线分布时，都必须根据零件设计更改的文件。其次，更改锻件图要经过一定的审批程序。凡是涉及重要锻件的原材料供应条件、主要工艺和足以影响锻件冶金质量的改动，还必须经过试验，必要时还要重新经过试车考验。

4. 模锻基本技术资料

生产每种锻件，必须具有以下三种技术资料：锻件图、模具图和工艺卡。

(1) 锻件图 锻件图是用来表示锻件在冷态下的形状，也称冷锻件图，其技术要求如下所述。

1) 在锻件图中，要求用双点画线表示出零件的主要轮廓。

分型线：习惯上分型面用点划线表示。

加工余量：零件上凡需要进行切削加工或冷精压的表面均需留出一定厚度的加工余量。

锻模斜度：外壁斜度称为外斜度，内壁斜度称为内斜度，一般内斜度大于外斜度。

工艺圆角：锻件各表面的转折处均应采用圆角过渡，凸出的圆角称外圆角，凹入的圆角称内圆角，一般内圆角大于外圆角。

冲孔连皮：对于有孔的锻件，可利用上下模上的冲头进行冲孔，但不能冲出通孔，而需在分型面留有一定厚度的连皮，称冲孔连皮。冲孔连皮在锻后切除飞边的工序中被切除。在锻件图上一般按冲孔连皮被切除后的形状画出通孔。

2) 锻件图的基本内容如下：

锻件图的标题栏中，应该标明产品型号，零件图号及名称，单台产品的零件数量和左右件，锻件图号及名称，材料牌号，连锻件数（多件连锻时），单台产品的锻件数量，锻件的热处理方法和硬度，图样比例、版次和分发单位等。

锻件图还应标明经过合理选择的分型面位置，如果有要求时，还应表示出流线的方向。

按照有关标准的规定，结合零件图和提出的特殊加工要求来确定余量、公差、敷料、构造要素和机械加工基准面的位置。然后，在锻件图内用双点画线标出零件的轮廓形状和在括号内注明最终的名义尺寸。

锻件图上应有该锻件所属类别的标记。

锻件图上应该标明检测硬度、炉号和检验印记的位置。

在锻件图的技术条件栏内应注明未注模锻斜度、未注明的圆角半径、垂直方向和水平方向的未注明尺寸公差、沿分型面上的错移量、残余飞刺和允许的翘曲量等。

(2) 模具图和工装模具图 模具图和工装模具图是作为制造或翻新模具的依据的技术资料。模具图一般包括下料模（剪刀片）、锻模、切边模（或切边冲孔复合模）、热校正或冷校正模等图样资料，有些锻件还需弯曲模、精压模等图样资料和装配图。

许多锻造工厂都制订了本厂内部锻模通用构件或通用结构要素，如模块、导柱、镶块、楔键、锁扣和模槽、飞边槽等的标准，而且由锻模制造与验收通用技术条件来规定它们的制造质量和装配成一套模具后的质量要求。所以在模具的设计图

样中，应标明采用的标准件号和适用的标准号。此外，还应特别注明质量要求按照通用技术条件的规定。

(3) 锻造工艺卡 锻造工艺卡是规定与说明整个工艺过程的技术资料。锻造工艺卡包括对原材料的要求、各个工序所用的设备与模具、中间检验与最终检验的要求等项目内容。

模锻工艺规程以工艺文件的形式予以表现，即构成模锻工艺规程。工艺规程是保证车间有节奏的生产、提高产品质量、提高劳动生产率、节约原材料、确保生产计划完成的重要技术支撑。

1.4 模锻件工艺结构性

锻件的形状与模锻工艺有着直接的关联，一种形状的锻件必然与一种工艺相对应。按已经掌握的生产工艺，模锻件的分类可按模锻件的主轴线与变形前原毛坯的轴线（即流线方向）相一致的特征，将锻件分为两个基本类别，即短轴线类和长轴线类。

1.4.1 锻件的形状与工艺性

1. 锻件的复杂程度和形状对成形的限制

1) 模锻能制造几何形状简单的锻件，如球体、盘件和轴，也能制造几何形状复杂的锻件，如在两个平面中弯曲或在立体坐标系统中的三个轴向成形的锻件（操纵杆、曲轴）。锻造难易程度不同，锻件形状越复杂，金属流动越困难。涉及对锻造复杂性的评价问题，必须同时考虑锻件和毛坯形状的复杂性，制坯工步的数目是否适合预锻的问题。评价中采用了不太精确的指标，例如：锻件体积与包围锻件的外切平行六面体体积之比（见图 1-23）。

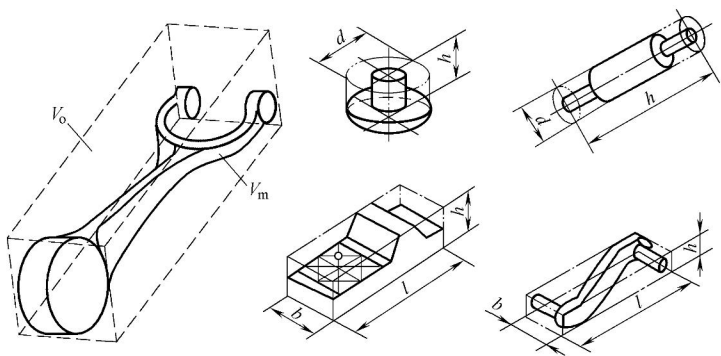


图 1-23 锻件的复杂程度

锻件形状复杂系数：锻件形状复杂系数 S 是锻件重量 $m_{\text{锻}}$ 与相应的锻件外廓包容体的重量 $m_{\text{外}}$ 的比值，即

$$S = \frac{m_{\text{锻}}}{m_{\text{外}}}$$

圆形锻件的外廓包容的重量：

$$m_{\text{外}} = \frac{\pi}{4} d^2 h \rho$$

式中 ρ ——密度 (g/cm^3)，钢的密度为 $7.85 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

非圆形锻件的外廓最小包容的重量：

$$m_{\text{外}} = lbh\rho$$

锻件复杂系数分为四级：简单： $S_1 > 0.63 \sim 1.0$ ；一般： $S_2 > 0.32 \sim 0.63$ ；较复杂： $S_3 > 0.16 \sim 0.32$ ；复杂： $S_4 \leq 0.16$ 。

当锻件为薄形圆盘或者是法兰件时，若圆盘厚度和直径之比 $t/d \leq 0.2$ ，可不作计算，而直接采用 S_4 级。

2) 模锻件还存在尺寸和形状极限问题。模锻件的尺寸从数毫米到数米长。钢模锻件的重量从 0.01kg 到数吨。尺寸和重量的上限是由现成的锻造设备的能力决定的。铝合金模锻件的重量可达 5000kg ，长度达 10m （机翼大梁），或直径达 1.5m 。例如一个汽车底盘上的钛合金锻件，重达 1800kg 。

3) 模锻件的临界尺寸限是指低于它便不能经济地生产的尺寸。它们是：①壁和肋的厚度和高度之比；②销轴的直径和长度之比；③底的厚度和宽度之比或厚度和直径之比；④圆角半径；⑤侧边的锻模斜度。

2. 模锻件的形状工艺性

模锻过程的复杂性、锻件形状的多样性、生产条件的改变对过程的影响，金属流动的非稳定的特点，都使得模锻生产工艺准备复杂化。所以设计时，精确分析它的流动是困难的，很难预先确定锻制具体锻件的最佳方法和计算飞边槽桥部尺寸、金属消耗等。根据零件的形状特征，成形极限的经验和数据，对锻件形状直观感觉，综合判断充型的可能性。

(1) 设计零件图应考虑的问题。

1) 一块毛坯制成零件的可能性。

2) 锻模分型的可能性：锻锤和机械锻压机上模锻的零件，其几何形状在沿着最大的纵断面最好能等量的划分为两部分。

3) 零件突出部分充型的可能性：在设计模锻件时，应当避免断面有急剧的变化。零件上某一断面到另一断面，力求做到均匀地转变，因为断面有了急剧的变化，模锻时金属就难于分布，这样就使零件突出部分（转角处、圆角处、肋及突缘）没有充满，从而造成废品或造成过分耗损飞边的金属量。

4) 用较少劳动量制出零件的可能性 (即以最少的工步和工序制出零件, 而机械加工工量极小)。

5) 消耗少量的金属制成零件的可能性 (减轻零件重量、采用管料和特种型钢)。

6) 用简单而又便宜的锻模制造零件的可能性。

7) 统一零件以便减少需用锻模的数量。

8) 制造零件不产生废品的可能性。

上述要求综合起来就决定了模锻件的“工艺性”。

在规定零件形状时, 能遵循着几何形的结构, 就可能达到这项要求。

(2) 锻件基本数据

为了解决设计模锻的工艺过程和模具的结构内所牵连到的错综起来的问题, 应先找出所给锻件的基本规格。锻件可用下列数据作为它的规格:

1) 锻件的形状, 即它在平面图上的外形及它在其他方向上的投影和断面的外形。当锻件属于分类中的一些类型时, 模锻成型方案多半就已经知道了。

2) 锻件的轮廓尺寸: 在平面图上的长度, 即锻件在平面图上的最大轮廓尺寸 $L_{\max}$ (mm); 在平面图上的最大宽度 $B_{\max}$ (mm); 最大高度, 即在打击方向的最大尺寸 $H_{\max}$ (mm)。

3) 锻件在分型面上的投影面积, 即锻件平面图上 L 的面积 $A(\text{mm}^2)$ 。

4) 锻件在平面图上的周 (边) 长 $P(\text{mm})$ 。

5) 锻件的体积 $V(\text{mm}^3)$, 可将所给的锻件形状分拆为基本的几何圆形, 而求这几个图形的体积之和。

6) 锻件的重量 $G(\text{kg})$, 可将锻件的体积和其材料的密度相乘求得。

7) 锻件的平均高度: $h_{\text{cp}} = V/A$; 锻件在平面图上的平均宽度: $B_{\text{cp}} = A/L$; 长与宽之比: $m = L/B_{\text{cp}}$ 。

8) 锻件的材料 (钢号)。

9) 锻件在有关所需尺寸和公差、组织 (宏观组织和微观组织) 以及材料力学性能各方面的技术条件。

10) 为生产性质所决定的制造锻件时的批量。

在设计模锻的工艺过程时, 上述各项构成锻件基本规格的数据和条件, 应作为原始资料。

(3) 复合锻造和联合锻造方式选择

1) 复合锻造。几种锻造工艺和设备复合使用, 可以经济地得到复杂形状锻件或提高锻件精度。常见的复合锻造举例说明如下:

平锻—辊锻。例如汽车操纵杆, 先用平锻锻出球部, 然后在辊锻机上轧出锥形变断面杆部。

电锻—螺旋压力机模锻。例如后半轴，先用电锻聚料，然后在压力机上成形。

模锻—锻锻。例如球壳法兰，先在锤或压力机上模锻出球体部分，然后锻出法兰盘。

模锻—折边。例如双边支重轮，在压力机上锻出直形，并用专用工具折边；或锤上锻出直形，在切边压力机上折边得到最终形状。

模锻—挤压。例如连接叉，先在锤或压力机上模锻头部成形，然后在同一火次下分两步挤出空心杆部。

径锻—平锻。例如圆锥杆连接轴，先锻锻端头，再锻锥形杆部，然后锻锻尾部。

模锻—扭转。例如平衡夹块分布在不同角度上的多拐曲轴，先模锻成平衡块在一个方向上的锻件，然后通过扭捏机扭转 to 所需角度。

模锻—弯曲。例如带控制臂的转向节，先锻成平的，然后再弯曲成最终形状。

2) 联合模锻。模锻工艺和非锻造工艺联合使用，经济地生产锻件。常见的联合锻造举例说明如下：

模锻—焊接。将复杂的零件分解成两部分，分别模锻成形，然后用氩弧焊、CO₂ 气体保护焊、摩擦焊或闪光对焊等焊接方法将其结合，从而得到锻件成品。这种方法也用于不同材料部分组合的零件，如排气门，头部用 Cr21Ni4Mn9V，杆部用 40Mn2SiAlV，摩擦焊后模锻。

弯曲—焊接—整形。如发动机的飞轮齿圈，用方钢型材加热，弯曲，闪光对焊，然后在压力机上扩孔，整形。

弯曲—焊烽—模锻。环形模锻件，先用圆钢棒料切断，然后弯曲，焊接得环形毛坯，最后再模锻成形。

1.4.2 锻件结构要素

所有模锻件对其几何形状都有一定的基本要求，并表现典型的形状特征。

1. 模锻与分型面

在一般情况下，模锻件的一部分在上型槽中成形，另一部分在下型槽中成形，分型面即上下模在锻件上的分界面。因而，确定了锻件的分模位置也就是确定了模锻型槽的分型面位置。型槽分型面表现在锻件分模位置上是一条封闭的锻件外轮廓线。锻件分型面选择的好坏将直接影响到锻件的成形、锻件出模、锻模结构及制造费用、材料利用率、切边等一系列问题。

(1) 开式模锻 开式模锻主要考虑型槽易于充满、锻件能从模锻中取出和便于模具加工等因素。因此，模锻件分型面的选择必须遵循下列原则：

1) 分型线应尽可能在锻件的各个地方将它分为高度相等的两部分（对称），以免不必要地增加金属材料的消耗。要不然，切边时会产生边缘不整齐的现象，在以后还要增加磨削工序，防止错移（见图 1-24）。

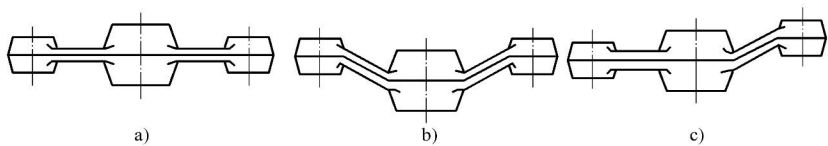


图 1-24 分型线走向类型

a) 平的 b) 对称弯曲 c) 不对称弯曲

2) 为了便于制造模具，分型线最好位于一个平面内，因为这样才能使模块的厚度减至最小，而且还易于加工出模块的内外形状。同时，锻造时操作也比较简单，因为不存在偏向一旁的水平变形分力，安装模具时容易对准，不易产生错移。

3) 分型线应有利于材料流动。在许多情况下，曲折的分型面优于平的分模，例如通过展宽制造凹形薄壁锻件、锻造肘形件或先要冲孔的圆形件。如果飞边和连皮位置相反，可以使金属流入飞边困难一些，分型线和模面夹角应小于 75° 。

4) 分模应使以后的切削加工面尽可能地垂直于变形的方向，这样不会受到斜度或飞边的干扰。

除了简单形状的锻件以外，在大多数情况下，不可能同时满足这 4 条原则。此时，使应根据具体情况确定哪一条原则更重要。

图 1-25 中的肘形件由于采用了两件合起来锻造的方法而得到平直的分模，表面 B 上有斜度。

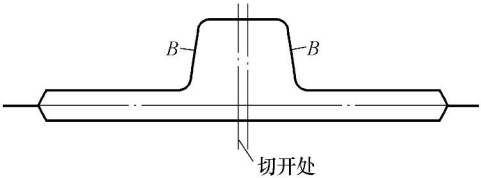


图 1-25 肘形件合锻

除了圆形模锻件外，曲折的分模方案会导致产生偏向一边的水平力，使模具发生偏移，从而在锻件上造成不能允许的错移。为了平衡此力，可以采用图 1-26 所示的方法，其中，图 a 为设置锁扣，图 b 为多件连锻，图 c 为在同一个锻件上使分型线折回到原来的高度上。后两种方法从原理上讲是相同的，只是并非所有锻件都允许这样做。肘形件可以像图 1-25 那样，由于把两件合在一起锻造而获得平面形的分模，只是随后需要多一个加工工序而已。此外，表面 B 上不得不规定斜度，如果采用曲折的分模方案，斜度多半可以取消，因为把它斜过来放置，就会出现一个自然斜度（见图 1-26c）。这样的锻件加工起来特别容易。

巧妙地利用零件本身形状特点来确定分型面，可以得到减少加工余量，节约金属材料的效果。如图 1-27b 所示，方形断面按对称位置分模，要在侧面上留出出模斜度。若转 90° 布置分型面，锻件无需出模斜度。又如图 1-27a 所示锻件，利用对称倾斜分型面，省去锻件脱模斜度。

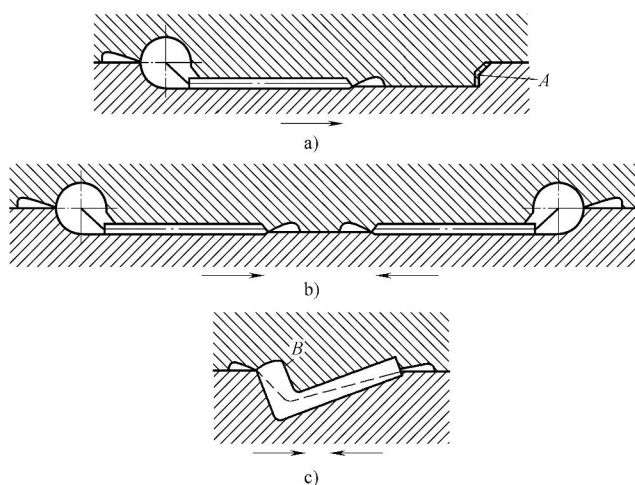


图 1-26 分型面与错移力的平衡

a) 设置锁扣 (A) b) 多件连锻 c) 单件模锻, 锻件上两边的分模线高度相等, 表面 B 上无斜度→为变形力的水平分力

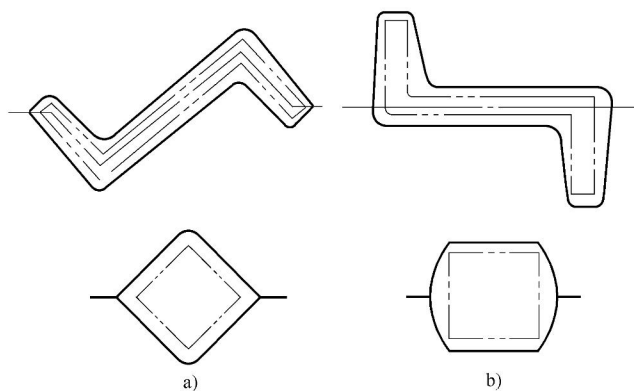


图 1-27 减少模锻斜度的分型面

a) 倾斜分型面的锻件 b) 方型截面的锻件

如图 1-28 所示, 不能取 $a-a$ 面为分型面, 因为这时球面加工很困难; 取 $cdea$ 为分型面, 切边有困难; 所以 $cdha$ 是最合理的分型线。

回转体类锻件有下冲头时, 分型面应高于下冲头顶面, 便于放置毛坯, 并可防止放偏毛坯而产生废

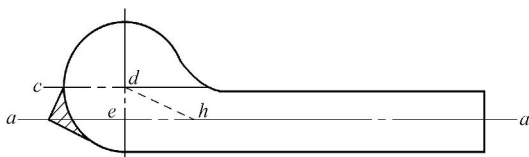


图 1-28 分型线位置与锻件加工

品（见图 1-29）。

浅槽形分型面沿断面的中心线取向，如图 1-30 所示。

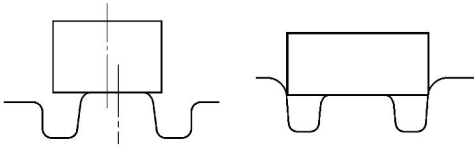


图 1-29 回转体锻件有
下冲头分型面选择

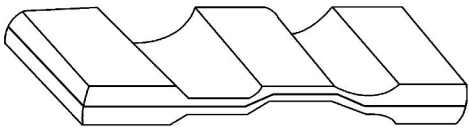


图 1-30 浅槽形分型面沿
断面的中心线取向

（2）闭式模锻 闭式模锻件分型面选取的原则与开式模锻相同，应考虑型槽易于充满、锻件能从模锻中取出和便于模具加工等因素。在闭式模锻中，坯料金属在凹凸模构成的封闭型槽中变形。锻件形状越复杂，金属流动越困难，因此，应尽可能造成以镦粗或挤压或两者复合的方式成形。对于整体凹模闭式模锻，分型面应选择在锻件与冲头（凸模）接触的端面上；对于复杂锻件的可分凹模模锻，其可分凹模分型面的选择与开式模锻完全相同。相据锻件的形状特点，分型面有三种基本形式，即水平分模、垂直分模和混合式分模（见图 1-31）。对于一些中空或多孔的零件，可采用多向闭式模锻，其凹模的分块和冲头的个数常在两块和一个以上，即有多个分型面。

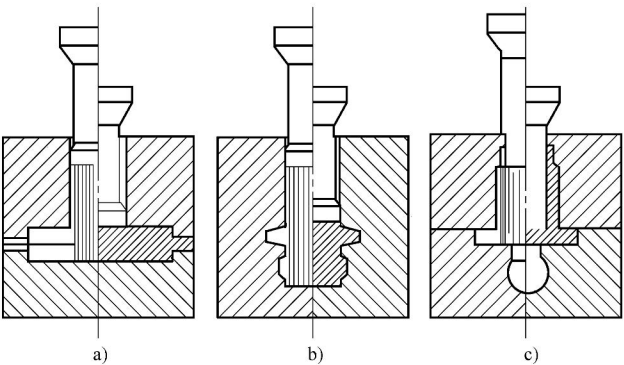


图 1-31 可分凹模的基本形式

a) 水平分模 b) 垂直分模 c) 混合分模

2. 模锻斜度

为了便于脱模，在锻件侧面上必须有模锻斜度，模锻斜度可分为外加模锻斜度

和自然模锻斜度两种。外加模锻斜度是锻件设计时附加在锻件内外壁上的斜度，机械加工时要被去掉；自然模锻斜度是指零件形状所固有的倾斜面，不用添加斜度即可自然脱模。当锻件终成形后，随着温度下降，外模锻斜度上的金属由于冷缩而有助于脱模，内模锻斜度的金属因冷缩反而将型槽突出部分抱得更紧，从而阻碍锻件脱模。因此，在同一锻件内模锻斜度应比外模锻斜度大。

当分型面通过较大圆断面（大于 100mm）的直径或椭圆断面（一般长轴高度超过 100mm）的短轴分模时，由于弧度大，近似直线不易出模，应按图作切线脱模斜度，其大小一般取 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，如图 1-32 所示。

锤上模锻件因模锻锤无顶出器，往往有大的脱模斜度。压力机模锻因锻压机、螺旋压力机有顶出装置，脱模斜度可以取得较小。这对有薄而高的肋的锻件很有利，同样形状尺寸锻件用平锻或墩锻可得到很小的脱模斜度。

分型面两边锻件高度不同时，脱模斜度的选择有两种方式，一种是调整锻件尺寸，使上

下模的脱模斜度相同，增加锻件金属消耗，维持模具加工刀具标准化，减少加工费用。另一种是改变上模脱模斜度，锻件金属消耗减少，但会牺牲上下模铰刀的标准化。

3. 圆角半径

锻件的圆角半径直接影响着模锻时的模锻力、金属流动、型槽充满、模具磨损、锻件切削加工量和锻件转角处流线切断等。锻件模具的内外圆角半径越大，金属流动越容易，型槽容易充满，所需的变形力越小，锻件上产生折叠缺陷的可能性就越小，模具因磨损或开裂而早期损坏的现象就可得以避免。因而在不十分明显引起模锻件敷料和加工余量增大的前提条件下，非加工面的内外圆角半径应尽可能取大值。

内圆角半径选择与所采用的坯料尺寸有很大的关系，可借助图 1-33 所示锻件来说明。此锻件有三个肋，如图 1-33a ~ d 所示，采用较短的坯料时，它只盖住中心肋的型槽，模锻时金属产生很大的横向流动。由图上右侧可见，若周边肋底部具有较大的内圆角半径 R_f ，则金属能平滑地沿着型槽流动，不会形成折叠；而左侧所示的周边肋，因其底部内圆角半径较小，使横向流动的金属越过内圆角，在肋的内壁附近形成一个空穴，当金属由顶部返流时即形成折叠。中心肋的底圆角虽然较小，但金属主要是垂直流动充满型槽，毛坯左边和右边部分金属同时流入型槽，能良好充满成形，此时所以内圆角半径 R_f 可以大大减小。

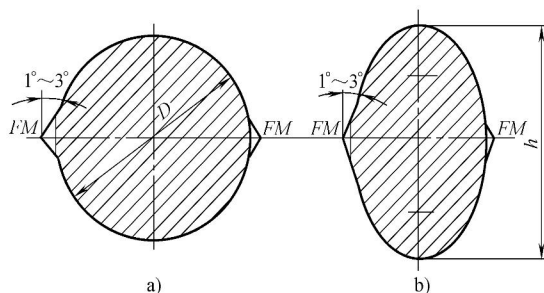


图 1-32 圆断面和椭圆断面的模锻斜度

a) 圆断面 b) 椭圆断面

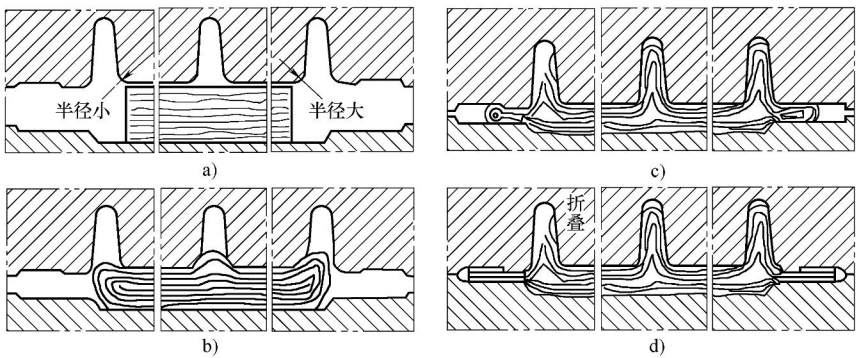


图 1-33 入口圆角半径大小对折叠产生的影响

a) 坯料在型槽中 b) 由于半径小致使材料离开模壁 c) 充满空腔 d) 空腔部分地压紧

外圆角半径对金属充满型槽的影响，可由图 1-34 所示金属充填圆顶和平顶肋时的流动情况来说明。如图 1-34a 所示，由于变形金属受模壁的摩擦和冷却的影响，使金属的上升而呈半圆形。当型槽顶部为圆形时，它与金属上升而形状接近，出此型槽容易充满。图 1-34b 所示为具有较大圆角半径的平顶肋的情况，由于变形金属的上升面与型槽顶部的形状不相似，金属将首先接触型槽顶部中心，如要充满锻件的外圆角则需要增加模锻压力。从图 1-34d 所示的模锻受力情况可以看出，锻造时型槽的圆角处会产生应力集中，锻件具有较大的外圆角半径将减小型槽圆角处的应力集中，而较小的圆角半径将会使应力集中增大。因此，模锻如图 1-34c 所示小圆角的平顶肋，不仅要求较大的模锻力，而且模具也会较快地损坏。

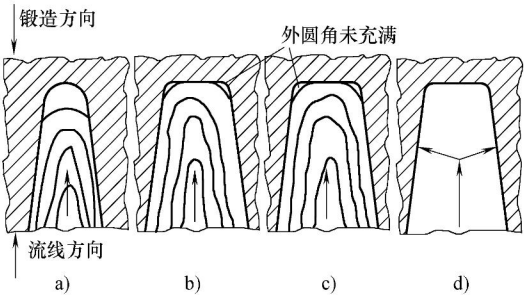


图 1-34 肋的外圆角半径对金属充满型槽的影响

a) 圆顶肋 b) 具有较大外圆角半径的平顶肋
c) 具有较小外圆角半径的平顶肋
d) 型槽受力示意图

除此之外，半径小的圆角还容易使锻件纤维割断，产生穿流现象，或者形成折纹。

4. 壁和肋的尺寸

锻件高而狭窄的肋，型槽充满很困难，因而存在肋宽与肋高允许值的关系问题。

肋是高度大于宽度但小于长度的单元形状，而且垂直于一个基面。它用来加强平板形状的构件，提高其抗弯曲和抗翘曲的能力，把局部的作用力分散到较大的平面上或者为了加强别的构件。

根据肋在所属基面上的位置，可分为内肋和外肋（侧墙），单边肋和双边肋以及纵肋和横肋等几种。根据肋的形状，又可分为直肋和弯曲肋（特殊情况为圆的）两种。根据肋的数量，还可分为单肋的锻件和多肋的锻件（见图 1-35a）。肋可以位于分型面之上或之下（见图 1-35b）。

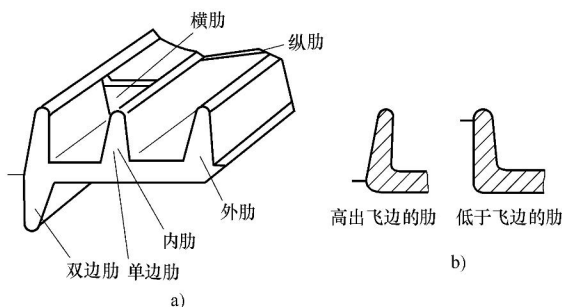


图 1-35 肋的名称及肋分型面选择

a) 肋的名称 b) 肋分型面选择

肋的特征尺寸是高度和宽度。肋的高度从相邻的腹板算起，肋顶宽度是肋的侧壁和平行于锻造平面且通过筋的最高点的直线的两个交点之间的距离。

型槽愈窄（工件和模具之间的摩擦增加），金属材料移动的路程愈长，接触的时间愈久（冷却），则变形抗力愈大，因而型槽也愈不容易充满，所以既窄又高的肋在模锻中是不利的。由此可见，对肋高和肋厚应加限制。

从生产经济性的观点出发，肋的尺寸不应低于极限值。在设计筋时，可按下述步骤进行：

1) 确定分型线。

2) 肋的位置：两肋之间的距离应大于肋的高度。如果一个锻件上有几根肋，那么被肋围住的锻件部分至少在一侧有一根肋（最多一根）将它和飞边槽隔离开。

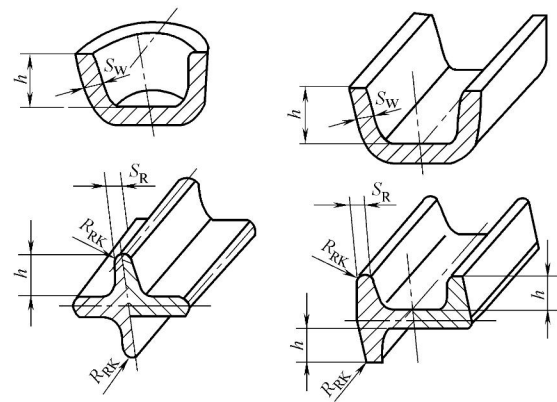
3) 确定断面：肋高和肋宽应按有关标准。肋的断面形状应尽可能在全长上不变化，如有必要变化，那么至少斜度和圆角半径仍应保持不变。

4) 选定斜度。

5) 选定圆角半径。

对于钢模锻件，可参考德国 DIN 7523 中的数据资料，见表 1-4（表中的标识与常见国内标识有一定差异）。

表 1-4 壁厚 S_W 、肋厚 S_R 、肋端半径 R_{RK} (DIN7523) (单位: mm)



壁或肋的高度 h	壁厚 S_W	肋厚 S_R	肋端圆角半径 R_{RK}
≤ 16	4 (2)	4 (2)	2 (1)
16 ~ 40	8 (4)	8 (4)	4 (2)
40 ~ 63	12 (8)	12 (8)	6 (4)
63 ~ 100	20 (12)	20 (12)	10 (6)
100 ~ 160	32 (20)	—	—

注：括号内数值由于费用较高应尽量避免采用。

肋厚不能低于最小值，否则便有产生“折纹”的危险。在某些情况下，可以用改变分模的方法来消除产生这种缺陷的原因。肋根部的圆角半径有下限，因为肋型槽入口处圆角半径如果太小，该处便会迅速磨损和变形，从而使锻件在型槽内粘住。此外，圆角半径太小，并且坯料的断面未经过预备的变形，还可能产生分层的危险。因为当材料在充填肋部时，会从模壁上脱离。型槽底部的圆角半径应该足够大，以便于充满，否则便需要很大的压应力，成为模具上产生龟裂的一个原因。肋的位置在锻件中间的情况下，相邻的腹板厚度应和肋的尺寸协调，因为腹板太薄，就有肋根部的材料被拉入的危险。

5. 凸出部和销轴

凸出部大多是呈圆柱形、圆锥形或与之相近的矩形单元形状，它们的高度 h 、宽度 b 和长度 l 几乎相等，在一般情况下 $h < 2b$ 。它们用于承受作用力或起紧固作用。销轴大部分是圆柱形的或圆锥形的单元形状，它们的高度和直径的比例要超过上述限制。

和肋的情况相似，凸出部和销轴既有单侧布置的，也有双侧布置的。和肋不同的是：凸出部和销轴既可位于模具运动方向上，也可和模具运动方向垂直或倾斜。设计时，原则上采用有关肋的内容。

6. 底厚

底是薄而平的单元形状 ($l \approx b > h$)。底也可以不是平的，而一部分或全部是别的单元形状，例如被肋包围的底。在锻造时，四周被包围的底（腹板）成形比较困难，因为当材料挤入飞边槽时会碰到障碍，金属的回流将成为问题。

底的厚度可以是不变化的，也可以是跳跃式地变化或连续变化。它不应低于最小的数值，因为锻造时的压应力随着比例 b/s 和 d/s (b 为宽度， d 为底的直径， s 为底厚) 的增加而增加，最后达到模具材料的强度值。此时刻来到以前，弹性变形早就发生了，最大的变形发生在底的中心。

底的厚度选择和设计应和围绕着底的筋和壁，以及它们的斜度和圆角半径协调起来。如果底的厚度向着周缘方向增加，模具上的载荷可能随之减小。考虑到制模方便，角度 γ 应该尽可能是单方向的，其值为 $1^\circ \sim 8^\circ$ ，一般取 3° 。

以铝、镁、铜为例，说明内圆角半径 R 、外圆角半径 r_1 、肋厚 b 和腹板斜度 γ 的数值关系，见表 1-5。

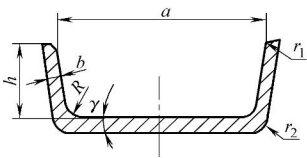
表 1-5 铝镁铜内圆角半径 R 、外圆角半径 r 、肋厚 b 和腹板斜度 γ

(单位: mm)

$b = 2h$

肋高 h	肋间距 a																		
	<40			40 ~ 80			80 ~ 125			125 ~ 160			180 ~ 250			>250			
	R	h	γ	R	h	γ	R	h	γ	R	h	γ	R	h	γ	R	h	γ	
<5	4	1.5	—	8	1.5	—	10	2	2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5 ~ 10	5				2		12.5	2		12.5	2.5	1°		—	—		—		
10 ~ 16	6	2		10	2.5		12.5	2.5		15	3	15	3	—	—	—			
16 ~ 25	8	2.5			3		15	3			3.5		4						
25 ~ 35.5	16	3		15	3.5		15	3.5		20	4	$1^\circ 30'$	20	4.5	—	20	5	—	
35.5 ~ 50	12	4		15	4		15	4			4			5	—	25	6		
50 ~ 71	—			20	4.5		20	5		25	5		25	6	—	30	7	—	
71 ~ 100				25	5		25	6			—			7	—	30	8		

(续)



$$r_2 = \frac{R}{2} (R + b)$$

肋高 h	肋间距 a												
	< 40				40 ~ 80			80 ~ 125			> 125		
	r_1	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ
< 10	2	5	2		5	3		5	4		5	5	1°
10 ~ 16		6	2.5		6			6			6	6	
16 ~ 25	2.5	8	3.5	—	8	4.5	—	8	5.5	2°	8	7	1°30′
25 ~ 35.5	3.5	10	4.0		10	6		10	7		10	8	
35.5 ~ 50	5	12.5	6		12.5	7		12.5	8		12.5	9	
50 ~ 70	6	—	—		15	8		15	9		15	10	
70 ~ 100	7				—	—		20	10		20	12	
100 ~ 140	8				—	—		—	—		—	25	

7. 辐板

锻件的辐板是用来连接承受载荷单元的一种加强肋（见图 1-36）。另外，它还可以作为孔芯连皮，在冲孔工序中冲去。

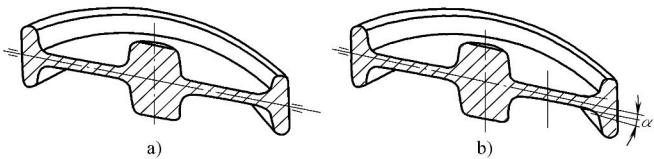
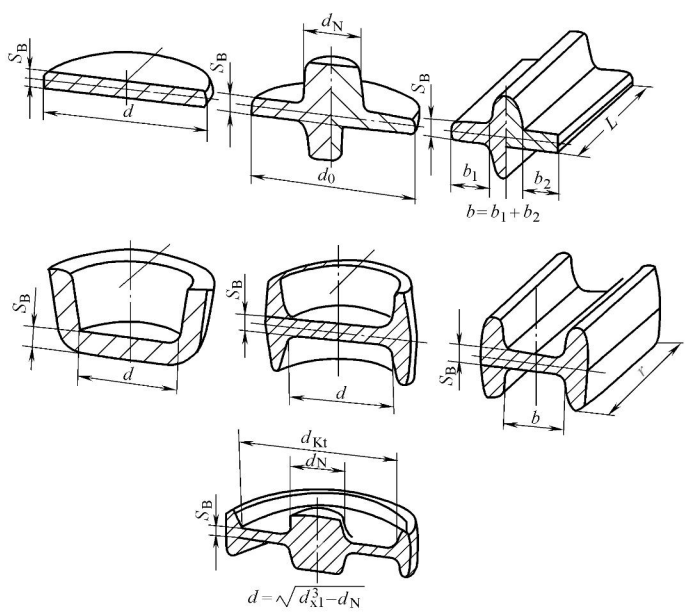


图 1-36 辐板锻件
a) 不好 b) 好

大面积的薄辐板需要很大的变形力，辐板厚度与变形力的关系与辐板面积有关。表 1-6 列举了德国标准 DIN 7522 的辐板厚度。

辐板与相邻单元的连接，应以大圆角半径过渡，这样有利于金属流动，并可避免产生缺陷。辐板厚度从中心往外增加，此增量可取一个 3° ~ 5° 的斜度（如腹板斜度 γ）或做成抛物线形。

表 1-6 辐板厚度 (DIN 7522) (单位: mm)



回转对称型		非回转对称型									
直径 d	厚度 S_B	宽度 b		当长度 l 为下值时的辐板厚度 S_B							
		自	到	≤ 25	25 ~ 40	40 ~ 63	63 ~ 100	100 ~ 160	160 ~ 250	250 ~ 400	400 ~ 630
≤ 20	2(1.5)		16	2(1.5)	2.5(1.5)	2.5(1.5)	3(2)	3(2)	—	—	—
20 ~ 50	4(2)	16	40	—	4(2)	4(2)	4(2)	5(2.5)	5(3)	7(4)	7(5)
50 ~ 80	5(3)	40	63	—	—	5(3)	5(3)	6(4)	7(5)	8(5)	10(7)
80 ~ 125	7(5)	63	100	—	—	—	7(5)	8(5)	10(7)	10(7)	13(9)
125 ~ 200	11(7)	100	160	—	—	—	—	11(7)	11(7)	13(9)	16(11)
200 ~ 315	16(11)	160	250	—	—	—	—	—	16(11)	18(13)	22(16)
315 ~ 500	22(16)	250	400	—	—	—	—	—	—	22(16)	25(18)
500 ~ 800	32(22)	400	630	—	—	—	—	—	—	—	32(23)

注：括号内数值涉及较高费用应尽量避免采用。

1.4.3 锻件图与零件图

由于模锻件成形方式和结构特点，一个锻件往往不等于一个零件，有时锻件与零件差异在外形上也有很大的差别。

1. 锻件与零件差异

一模多件在制订锻件图之前，务必熟悉零件的形状尺寸、功用与受力情况、模

锻成形特点以及零件在各个加工工序中对锻造所提出的技术要求等资料，还有锻模的制造费用、锻模的生产率和以后的切削加工费用，并借助技术经济分析来解决。然后考虑该锻件应在何种设备上模锻，从而再进一步进行锻件结构的具体设计。只有经过这样详细的考虑之后，才能制订出合理的锻件图。具体应考虑的内容如下：

1) 改变零件的结构以减少锻造工步，或便于充型。

2) 形状尺寸相近的零件采用统一的锻件，而不必创造两种或多种锻件。

3) 将零件分为两个或更多的锻件以便分别进行模锻，然后用焊接或其他的方法连接起来（见图 1-37）。

4) 两个或更多有关的或无关的（见图 1-38）零件组合成一个锻件，然后分割开。

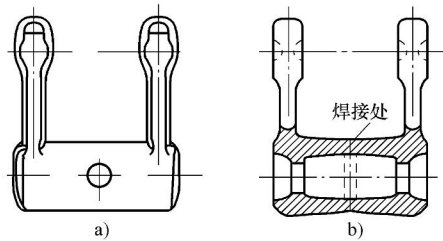


图 1-37 两种模锻方案
a) 整体锻件 b) 两个锻件焊接起来的零件

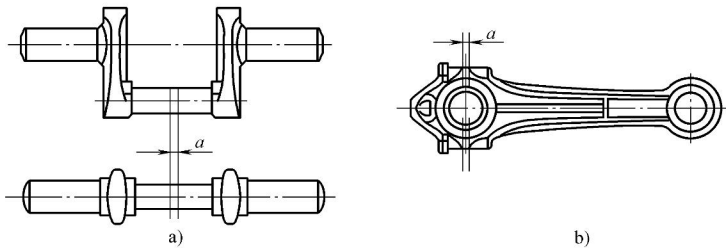


图 1-38 锻件合锻造
a) 左、右件合锻 b) 连杆与连杆盖合锻
 a —分割层厚度

5) 将两个原拟连接起来的零件结合成一个锻件，以省去焊接或其他连接的步骤（见图 1-39）。

6) 用精压或压印代替一些切削加工工序。

7) 把标准的或具有特殊断面的轧材切成一定尺寸的材料，然后用分割、冲孔、弯曲等方法来制得精密的或近似完成尺寸的零件。

8) 先后共用两个分型面的方法进行模锻。

9) 用模锻锤和其他模锻设备联合起来的方法进行模锻（见图 1-40）。

2. 锻件与零件的接近程度

锻件与零件的接近程度与采用的工艺有关，并对零件生产的经济性影响深远，而锻件的结构细节对生产的经济性也有很大影响。

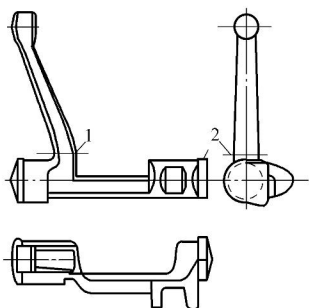


图 1-39 由两个零件连接起来的杠杆

1、2—焊接接缝

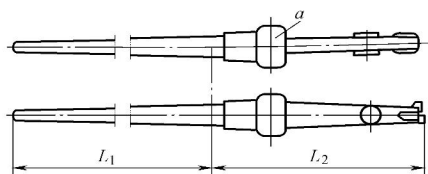


图 1-40 变速箱调速杠杆

 a —平锻机上锻出的球 L_1 —辊轧的部分 L_2 —锤上模锻部分

确定一种零件的结构形式，首先是该零件的形状、尺寸能满足使用性能的要求，其次是能够经济地生产出来，现代技术为设计师提供了多种制造工艺的可能性。因此，在确定零件结构时，有必要广泛研究制造工艺，考察其经济性，即始终注重零件生产的总成本。

锻件工艺应按零件生产总成本最低的原则来精心选择。锻件结构影响零件生产总成本的首要因素，乃是锻件与零件的接近程度。

显然，锻件与零件的接近程度对零件生产总成本的影响与零件的需要量有关。如果只需要单个工件或生产批量很少时，使锻件接近零件形状支出的模具费和加工费，比起切削加工费和多切削的金属耗费大得不成比例。这时，采用自由锻是经济的。当生产量增加到一定程度时，比较接近零件形状的锻件结构有较佳的效果。而在大量生产条件下，锻件紧密接近零件形状，使材料费和切削加工费用减少，而所增加的昂贵的模具费因分摊到大量锻件上，单件成本中的模具费用大大减少，从而使零件的总成本最低。锻件结构与零件的相近程度与生产批量和零件总成本的关系用图 1-41 表示。

因此，模锻方法及其他加工方法的不同，锻件图的制订也不一样。但无论如何，应尽量使得锻件形状尺寸接近零件。

3. 锻件精度

各种锻造工艺可达到的尺寸精度与锻件的尺寸、重量有关，内径、外径和高度方向的公差值也因工艺不同而有差别。

(1) 影响锻件精度的因素

- 1) 材料尺寸误差。
- 2) 下料精度。
- 3) 始锻温度偏差。

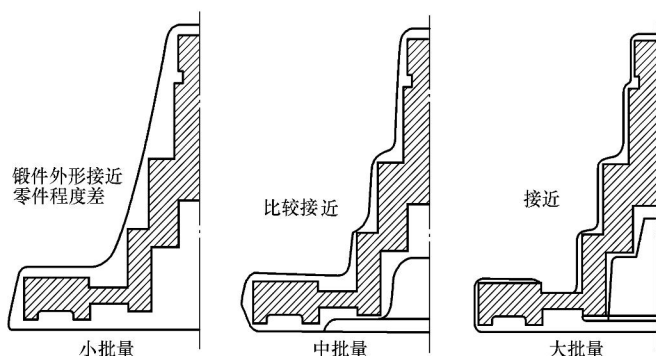


图 1-41 锻件结构与零件的相近程度关系

- 4) 模具温度变化。
- 5) 模具制造尺寸偏差。
- 6) 模具的弹性变形和磨损。
- 7) 设备机架的弹性变形。

(2) 提高锻件精度的措施

1) 采用尺寸精度高的原材料，如采用冷拔料取代热轧料，或对材料表面进一步加工，如粗车或粗磨棒料外径。

2) 采用锯切砂轮切割或车削下料提高下料的尺寸、重量精度和端面平直度。

3) 采用感应加热，并用光电控温仪器检查控制始锻温度。

4) 采用控温模具或恒温模座，保持模具在锻造过程中温度变化在一定范围内，控制生产节拍，均衡生产，以减少温度波动的影响。

5) 采用弹性顶出模具，减少锻件与模具接触时间。

6) 提高模具制造精度，及时检查模具尺寸，适时更换已磨损元件。

7) 加强导柱、导套的刚性。合理设计锻件结构，减轻型槽突出部分应力，避免早期磨损。采用水基石墨等合适可靠的润滑剂，及时吹扫留在模具上的氧化皮。

8) 选用刚性好的设备。

9) 选用力能足够的设备，减少锤击次数。

10) 采用适当的预锻工序，使毛坯接近终锻形状，以减轻终锻型槽的磨损和终锻过程的变形力。

11) 采用合适的锻后工序，如锻后热校正、冷校正、热精压、冷精压，从而进一步提高锻件的精度。

12) 采用复合工序，如去斜度切边，冲孔精扩孔，模锻-热挤压，模锻-冷挤压等。

以上每一措施的采用，都意味着锻件生产成本的提高。只有在权衡采取这些措施，将获得的效益与成本相比较之后，才能证明所采取措施是否是合理的。

第2章 锤 上 锻 模

锤上模锻是对蒸汽—空气模锻锤上进行模锻件生产的简称。模锻锤因其锤上可进行多工步制坯，金属充填性能好，通用性好，从而成为模锻生产中主要使用的设备。

2.1 模锻锤及其锻造工艺特点

模锻锤历史悠久，其结构形式已经完全定型，由于结构简单、使用性能好、生产效率高、操作方便、造价低，适合多模槽锻造，应用很广泛。蒸汽—空气模锻锤由自由锻锤发展而来，工作原理和基本结构与自由锻蒸汽锤相同。模锻锤是借助蒸汽（或压缩空气）经分配机构（即滑阀）交替进入汽缸内活塞上部或下部，带动锤头作往复运动。和自由锻蒸汽锤相比，模锻锤只是为了适应模锻工艺的要求，从而在结构上作了相应的改进。

模锻锤的结构简图见图 2-1，其主要结构特点如下：

1) 为了提高打击刚性，以保证模锻件高度方向的尺寸精度，模锻锤增大了砧座重量。自由锻锤的砧座重量（ $G_{\text{砧}}$ ）与落下部分重量（ $G_{\text{落}}$ ）之比 $G_{\text{砧}}/G_{\text{落}}$ 为 10 ~ 15，而模锻锤的 $G_{\text{砧}}/G_{\text{落}} = 20 \sim 25$ ，这样可使模锻锤较低的打击效率有所提高。

2) 为了提高锤头运动的导向精度和承受偏心打击的能力，以保证模锻件的水平方向的尺寸精度，并减少错模，模锻锤的立柱、靠楔和带有弹簧倾斜放置的螺栓固紧在砧座上，并靠楔使立柱在前后和左右两个方向调整。此外，还减小了立柱间距离，加长和加强了导轨。

3) 打击力可在较大的范围内调整，根据锻件变形情况可实现轻击、重击、单次打击和连续打击。为了便于控制制坯工步时快速小行程的轻击，模锻时开始轻击、最后重击，以“摆动”代替了自由锻锤的空悬，即在不打击时，锤头不断地在空中上下“摆动”。为了便于单人操作，将操纵手柄改为脚踏板，10t 以上的模锻锤是由专人司锤，3t 以上模锻锤可在操纵拉杆中串联液压接力器。另外，操纵系统还有一个特点，就是配汽滑阀与节流旋阀联动，节流阀只在打击时开口增大，这样可更灵敏地控制轻重击，并在“摆动”时节省蒸汽。

4) 模锻锤有较高打击速度（约 7 ~ 9m/s）和打击次数，从而使模锻工步的金属充满型槽的能力较好，锻件易于成形并有较高的生产率，而且可以在模锻锤上多模槽进行多工步制坯。

5) 具有足够的操作空间。要求锤头的行程较大，以便于取放锻件、清除氧化

皮和润滑模具。

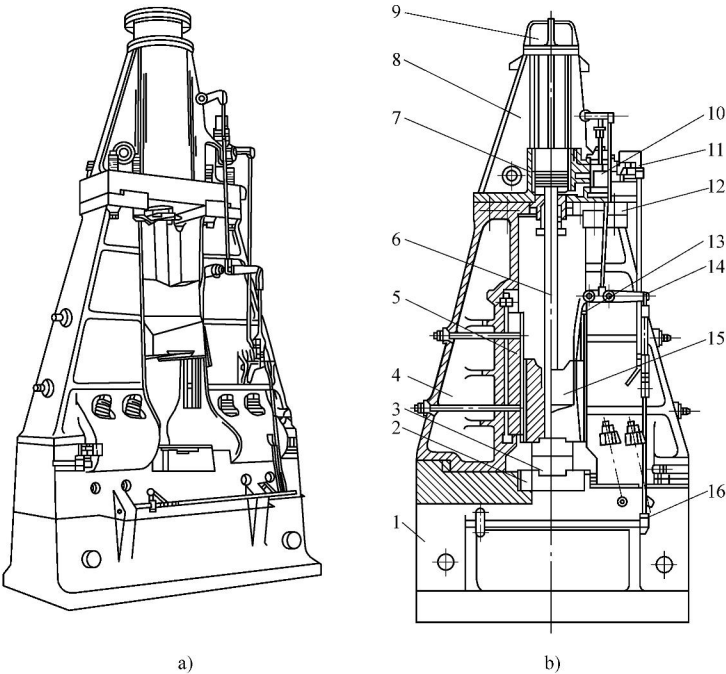


图 2-1 蒸汽—空气模锻锤外形及结构

a) 蒸汽—空气模锻锤外形 b) 模锻锤结构

1—砧座 2—模座 3—下模 4—立柱 5—导轨 6—锤杆 7—活塞 8—气缸 9—保险缸
10—滑阀 11—节流阀 12—气缸垫板 13—刀形杆 14—杠杆 15—锤头 16—踏板

6) 模锻锤的缺点是振动大、噪声大、工人劳动强度较大。在使用过程中，锤杆容易断裂，从而增加维修工作。

模锻锤系列的主要技术规格和性能参数见表 2-1。

表 2-1 模锻锤的主要技术规格和性能参数

落下部分重量/t		1	2	3. 15	5	10	16
工艺性 能参数	最大打击能量/kJ	25	50	75	125	250	400
	最大行程/mm	1200	1200	1250	1300	1400	1500
	导轨间距离/mm	500	600	700	750	1000	1200
	锻模最小闭合高度(不计燕尾)/mm	220	260	350	400	450	500
	锤头前后方向长度/mm	450	700	800	1000	1000	2000
	模座前后方向长度/mm	700	900	1000	1200	1400	2110

(续)

落下部分重量/t		1	2	3. 15	5	10	16
工艺性能参数	打击次数/(次/min)	80	70	65	60	50	40
	能锻造短轴类锻件的最大直径/mm	φ40 ~ φ125	φ120 ~ φ220	φ170 ~ φ275	φ250 ~ φ370	φ360 ~ φ510	φ460 ~ φ670
供基建安装用的技术参数	蒸汽压力/MPa	0. 6 ~ 0. 8	0. 6 ~ 0. 8	0. 7 ~ 0. 9	0. 7 ~ 0. 9	0. 7 ~ 0. 9	0. 7 ~ 0. 9
	砧座重量/t	20. 25	40	51. 4	112. 5	235. 5	325. 9
	总重量(不包括砧座)/t	11. 6	17. 9	26. 34	43. 8	75. 7	96. 2

我国最大的有砧座模锻锤为 16t，其砧座重量为 325. 9t，总重量达 422t。由于设备重量大给设备制造、运输、安装和维修带来一系列困难，而且大吨位的有砧座锻锤打击时振动严重，需要非常巨大的钢筋混凝土基础，从而提高了厂房的造价，而且对周围的精密机械和仪表也有严重影响。随着模锻设备的大型化，上述矛盾越来越突出，国外历史上曾制造过 75t 和 105t 的有砧座锻，由于上述矛盾无法解决，这两台锻锤从未在生产中使用过。

为了解决上述矛盾，在有砧座模锻锤的基础上发展出了无砧座锤，其结构特点是以一个与上锤头联动的下锤头取代砧座，工作时是上下锤头相向打击，基本上没有振动传给基础，对基础和厂房的要求较低。由于下锤头在运动，不便于于拔长类制坯工步，有时需要配用自由锻锤做制坯设备。

无砧座锤上模锻工步的金属充满型槽能力与有砧座模锻锤相同。

无砧座锤按其上下锤头联动的连结方式分为两种：

1) 钢丝绳（或钢带）联动式。上下锤头重量相同，运动速度相同，每个锤头的最大打击速度为 3m/s 左右。图 2-2 为其结构简图。

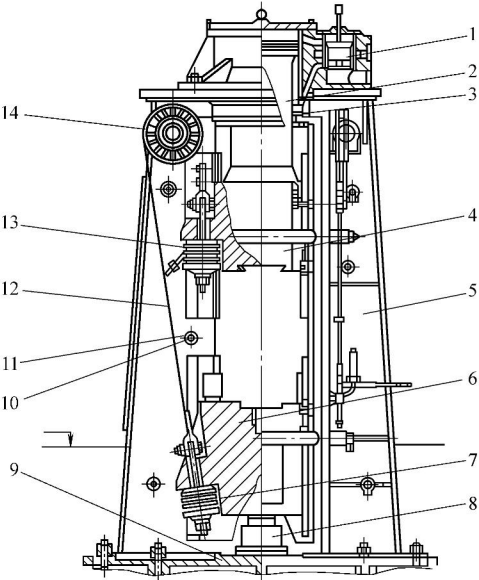


图 2-2 钢带联动式对击锤结构

- 1—滑阀 2—活塞 3—气缸 4—上锤头
- 5—立柱 6—下锤头 7—多层橡胶缓冲垫
- 8—缓冲器 9—底板 10—螺栓
- 11—套筒 12—钢带 13—滑轮

2) 液压联动式。下锤头重量等于或大于上锤头重量，下锤头的运动速度等于或小于上锤头的运动速度。

无砧座锤的规格以最大打击能量表示，即以上下锤头最大打击速度时的动能之和表示。我国无砧座锤尚无系列标准，在生产中经常使用的有4t·m、16t·m、25t·m、40t·m等，并在制造具有更大的打击能量的无砧座锤，如液压联动无砧座锤已达100t·m。

对击锤的吨位不是用落下部分重量来表示，而是用打击能量（kJ）来表示。在标准系列中规定有40kJ、63kJ、100kJ、160kJ、250kJ、400kJ、630kJ、1000kJ、1600kJ等规格。无砧座锤的主要技术规格和性能参数见表2-2。

表 2-2 无砧座锤的主要技术规格和性能参数

打击能量/kJ	160	250	400	630	1000	1600
每分钟打击次数	45	45	40	35	30	25
导轨间距/mm	900	1000	1200	1500	1700	2000
锤头前后长度/mm	1200	1800	2000	2500	3700	5000
锤头行程/mm	2×650	2×650	2×700	2×800	2×900	2×1100
锻模公称闭合高度/mm	2×355	2×400	2×450	2×500	2×600	2×750
锻模最小闭合高度/mm	2×200	2×250	2×280	2×315	2×355	2×450
工作气体压强/MPa	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9
打击一次蒸汽耗量/kg	1.8	2.74		4.65		
顶出行程/mm					100	150
外形尺寸 (长×宽×高)/mm	3000×3300 ×8400	2900×4000 ×9100		3600×5600 ×11600	6100×2500 ×16140	
总重量/t	101	149		435	940	

锤上模锻的模具固定在锻锤的上下锤头上，锻件在模具中成形。几乎所有的小零件均可用锤上模锻制作其锻件毛坯，模锻锤是一种万能性设备。锤上模锻的特点有：

- 1) 型槽中的金属坯料或棒料是经过多次连续锤击而逐步成形的。
- 2) 锤头的行程、打击速度均可调节，能实现轻重缓急不同的打击，因而可进行多工步制坯工作。
- 3) 由于惯性作用，金属在上模模膛中较热模锻压力机和摩擦压力机有更好的

充填效果。可以制作形状复杂的锻件，尤其向上突出的肋、突等部位充型良好。

4) 锤上模锻的适应性广，可生产多种类型的锻件，可以单型槽模锻，也可以多槽模锻——在一台设备的一副模具中完成几个变形工步。

5) 锤上模锻打击速度较快，对变形速度较敏感的低塑性材料（如镁合金等）进行锤上模锻，不如在热模锻压力机上模锻的效果好。

6) 锻件飞边量较多；公差、余量较大（与压力机模锻比较）；设备无顶出装置，锻件出模斜度大。

7) 模块尺寸大，模具寿命较低（与压力机模锻比较）。

8) 模锻锤上机械化和自动化实现困难，劳动强度大。

模锻的基本工序有：下料—加热—制坯—预锻—终锻—切边—冲孔—磨毛刺—校正—精压—热处理—清理—探伤—磨表面缺陷—检验—防锈。

锤上模锻的制坯、预锻和终锻可以在一副多槽模具中顺序进行。如果锻件尺寸大，也可以将制坯和预锻分在其他设备上进行。锤上模锻有很大的灵活性，可以一模多件、一坯多件，也可以局部楔锻和套锻。锤上模锻常用的工步有：镦粗、压扁、拔长、滚压、弯曲、预锻、终锻、切断等几种。

如果坯料只用一终锻槽来模锻，就称为单（型）槽模锻，它适用于形状简单、或者采用自由锻制坯的形状复杂的锻件；如果除终锻模之外，事先还采用制坯型槽和预锻型槽时，则称为多（型）槽模锻，它适用于形状复杂、在同一模具上完成多工步制坯和成形的锻件。锻件形状简单、即使锻件形状复杂而产量小时、采用特定形状的毛坯如周期性断面型材、或解自由锻造的毛坯时，一般均采用单（型）槽模锻；当锻件形状复杂而产量较大时，一般均采用多（型）槽模锻。

2.2 模锻工艺选择

一个锻件的具体模锻方法是由锻件形状和尺寸等条件而定的。根据锻件的形状和尺寸等特征对锻件进行分类，易于我们掌握模锻工步选择及模具设计的规律，还有利于实现模锻工艺规程的规范化和标准化。

2.2.1 锤锻模锻件分类

锤上模锻的锻件，可按下述三个因素来进行分类：①分模线的形状；②锻件主轴线（即各横断面中心的连线）在锻件平面图上的投影形状；③锻件的形状及其在平面图上的尺寸的比例。

根据上述三个因素，锤模锻锻件可以分为下列六类：

(1) 第Ⅰ类具有直长轴线的锻件 这类锻件形状的特征是分模线为一直线，锻件主轴也是一直线，并且具有相当的长度。属于这类的有直杠杆、直轴和连杆

等,如图 2-3 所示。根据这类锻件形状特征来看,模锻时采用第一类制坯槽便成为其模锻工步的特点。

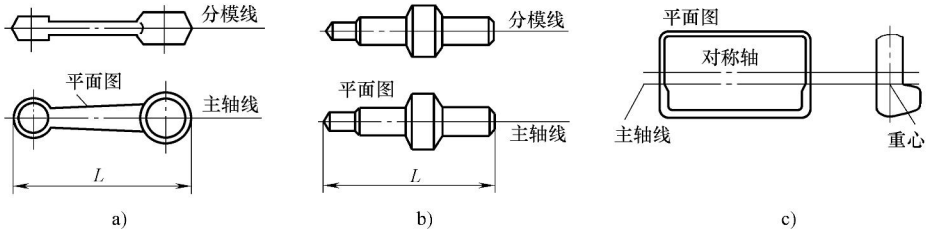


图 2-3 具有直长轴线的锻件

(2) 第Ⅱ类具有弯曲轴线的锻件 凡是主轴或分模线是弯曲的,或主轴和分模线同时都是弯曲的锻件(见图 2-4)都属于这一类。显然,按其形状的特征来区分,除只是分模线是曲线的锻件之外,均需采用第二类制坯槽(特别是其中的弯曲槽)。但是对于弯折得很厉害且弯曲的第二部分很短时(见图 2-4d),应划为第Ⅲ类锻件,此时第二部分当做枝芽,而相应地采用成形槽而不是弯曲槽。

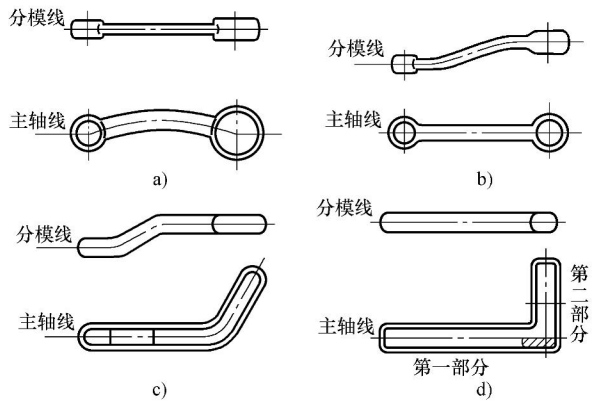


图 2-4 具有弯曲轴线的锻件

(3) 第Ⅲ类具有枝芽的锻件 这类锻件的特点是:不论其主轴是直线或曲线,均带有局部的弯曲部分或凸出部分,如图 2-5 所示。根据这类锻件形状的特点,其制坯工步应该采用第二类制坯槽。

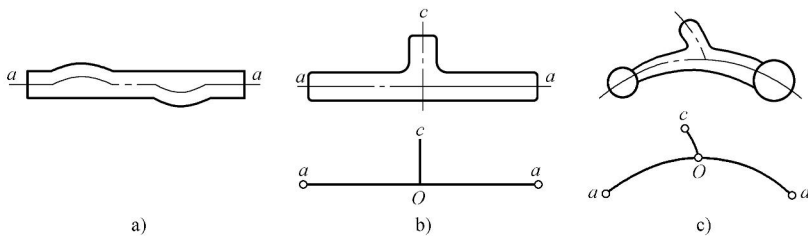


图 2-5 具有枝芽的锻件

(4) 第Ⅳ类叉形锻件 图 2-6 中是典型的叉形锻件。如果其叉口较窄 (见图 2-6a), 显然难于用弯曲槽来制坯。即使能够制坯, 弯曲后所得毛坯在转折处的夹层缺陷在模锻槽中模锻时会挤入锻件本体而使锻件形成废品, 所以应采用带有劈开平台的毛坯的预锻槽来制坯。相反, 如果叉口很宽 (见图 2-6b), 若不用弯曲槽来制坯, 而用带有劈开平台的毛坯预锻槽来制坯时, 坯料金属将难以制成被劈向两边的叉臂。显然, 图 2-6b 所示锻件不应当做弯曲件处理。总之, 叉形锻件除了轴线和分模线是直线之外, 还带有叉形部分, 因此, 其模锻工步的特点除了可能采用第一类制坯槽之外, 还要采用带有劈开平台的毛坯预锻槽。

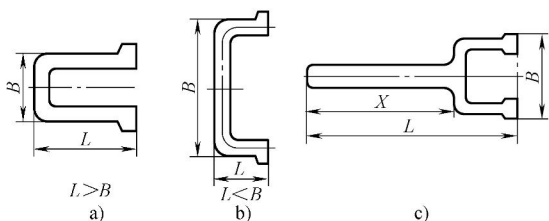


图 2-6 叉形锻件

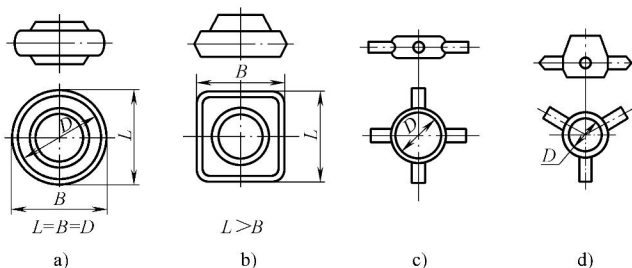


图 2-7 在平面图上为圆形、方形或近似于这些形状的锻件

(5) 第Ⅴ类在平面图上为圆形、方形或近似于这些形状的锻件 其特征是在平面图上两个垂直方向的尺寸大略相等 (见图 2-7a、b)。至于十字形或丁字形锻件 (见图 2-7c、d), 可看做是这类的特殊形式, 因为锻件的主体在平面图上都是呈圆形或方形, 而由主体伸出的臂部可看做是锻件的枝芽。这类锻件模锻的特点是采用端面模锻法, 即用单个坯料沿着轴向进行锻粗而得。

(6) 第Ⅵ类混合形状的锻件

这一类锻件具有上述各类锻件的几种特征, 如图 2-8 所示的锻件本应属于第Ⅱ类锻件, 但它尚含有叉、枝芽及在平面图上为圆形的凸台等部分, 这些部分的存

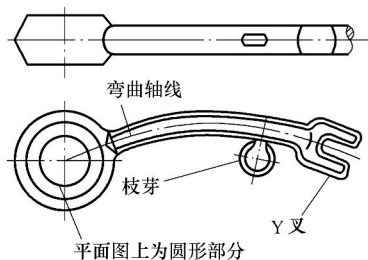


图 2-8 混合形状的锻件

在将影响其模锻方法。

2.2.2 锻件图

设计锻件图首先应考虑产品零件的技术经济要求（尺寸精度、内部质量、批量等），同时也要考虑模锻工艺技术上的可能性和经济上的合理性，以及机械加工等后续加工工艺对锻件的要求（如加工余量、硬度等）。因此，在设计锻件图时，应先对产品零件进行分析，并在此基础上，结合具体生产条件确定模锻工艺的初步方案、确定模锻设备类型、采用开式模锻还是闭式模锻、大致的工艺流程等。在设计锻件图的过程中，可以修改或完善初步方案，从而使工艺方案进一步具体化。

锻件图的设计主要包括以下具体内容：

- 1) 确定锻件的分模位置。
- 2) 确定敷料、余量和公差。
- 3) 确定模锻斜度。
- 4) 确定圆角半径。
- 5) 确定冲孔连皮。
- 6) 绘制锻件图和确定锻件的技术条件。

设计锻件图的依据是：

- 1) 产品零件图。
- 2) 有关的锻造技术标准和质量控制文件。
- 3) 对机械加工有特殊要求的锻件，由负责制订机械加工工艺的部门提出的机械加工余量、加工基准面以及为了便于加工而设置特殊敷料的要求。
- 4) 锻造车间现有的设备和生产能力。
- 5) 关于机械制图的国家标准和企业内部的通用标准。

1. 分型位置

确定锻件分模位置最基本的原则是保证型槽能分开，保证锻件能从型槽中取出。确定了锻件的分模位置，也就是确定了模锻型槽的分型面位置。锤上锻模分型面选择原则见表 2-3。

1) 金属容易充满型槽：分模的方向应使得型槽的深度最小和宽度最大，这样坯料金属较易充满模槽。对于狭而深的模槽，用压入法显然比较困难。

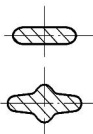
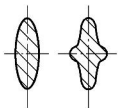
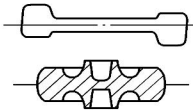
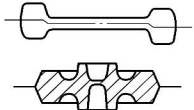
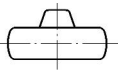
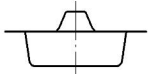
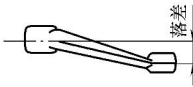
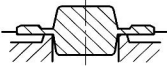
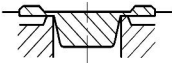
2) 简化模具制造：简单的和浅的对称型槽，通常取对称形的中心线为分型面，两半模中的形状完全相同。加工模具时只需要一个模型，可降低模具加工费。

3) 容易检查错模：分型面最好不要选在突变的过渡断面上，否则难于用肉眼检查锻件上下两半沿分型面的错移。但当为了减小飞边而且模具中没有防止错移之装置时，仍允许将分型面选在过渡断面上。

- 4) 平衡模锻错移力。

5) 飞边能切除干净。

表 2-3 模锻锤上分型面选择原则

选择原则	合 理	不合理
金属容易充满型槽		
简化模具制造		
容易检查错模		
平衡模锻错移力		
飞边应能切除干净		

锻锤用模分型面，可以是平的（成为水平的平面），也可以是由水平面、倾斜面和圆柱面组合起来的复杂表面。对于某些零件，例如螺旋桨的叶片（见图 2-12），分型面是封闭的扭转空间曲线。

长轴线类的非圆断面锻件（例如曲轴、连杆等），只有唯一的分型位置选择。而圆断面的长轴线类、短轴线类和复合类的锻件，常有较多的分型位置可以选

择。不同的锻造设备和工艺方案，其分型位置是不相同的，图 2-9 列举了几个典型的锻件分型位置情况。图 2-9a 在高径比不大的情况下，另一方向分型可以大大减小锻件重量；图 2-9b 在高径比不大的情况下，另一方向分型能简化切边模；图 2-9c 可以简化模锻工步，例如弯曲模可以省掉时。

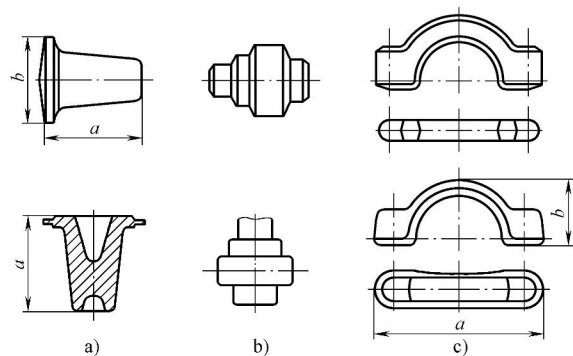


图 2-9 典型锻件分型位置情况

特殊情况下，分型还应使得纤维的分布符合零件的技术需要。U 形对称断面或锻件的槽形部分，分型面应取在靠近肋的顶部，如图 2-10 所示。这样分模可使高而窄的型槽容易充满。分型面的选择应使金属材料在从飞边槽挤出之前只向一个方向流动，不产生回流，从而避免形成折叠缺陷。分型面取在肋的下部或底部，将会造成肋部充型困难和产生折纹缺陷。同时，金属流线露头的部位应避开应力集中的部位。

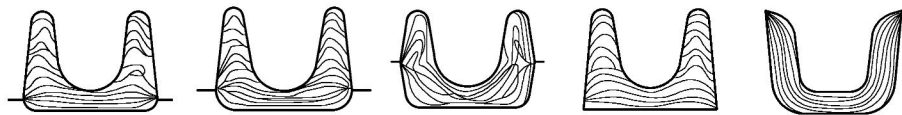


图 2-10 U 形对称断面分型面位置对金属流线影响

具有多曲折形分型面的锻件，可以先将锻件在平分型面模具中锻成直形，热切边之后，再经弯曲得到锻件最终形状。图 2-11 所示小汽车转向节的分型面选择，是根据具体生产条件，综合了多方面的要求所作出的选择，由平分型面（见图 2-11a）改进为作锻件形状的改变，使分型面倾斜（见图 2-11b），再锻后弯曲成最终形状（见图 2-11c）的分模方式。这样既节约了原材料，又简化了制坯工序。

2. 余量、公差和敷料

锻件上凡是要机械加工的部位，都应留出加工余量。余量的大小决定于机械加工的要求（这些要求与零件形状和尺寸、加工精度等有关），同时又受模锻工艺所能达到的锻件公差的影响。余量要考虑到锻件表面层的缺陷（裂缝、斑疤、锻入的氧化皮、细缝等）以及锻造过程中形成的平面度、弯曲、凹陷、挤皱及褶皱等，同时还有弯曲度、平面度和同心度等偏差。余量过大就增加了金属的消耗，而且还会切去完好的金属表面层；但余量过小势必造成加工难度，影响生产效率。所以在保证质量和效率的前提下，余量应最小。

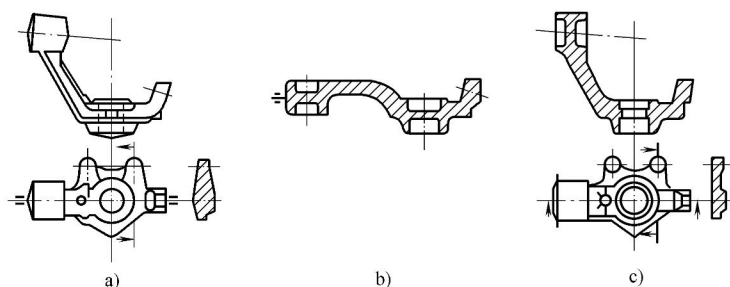


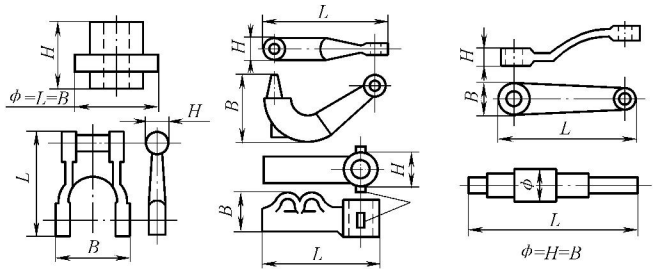
图 2-11 小汽车转向节的分型面的改进

公差是锻件尺寸与锻件图的名义尺寸之间的允许偏差，这些偏差是由于锻造过程本身的不精确，锻模制造和安装的不精确（锻模倾斜），锻模的磨损，锻件上各处之收缩程度不同等原因而引起的偏差。确定模锻件的余量和公差的方法有两种：一种是按照模锻设备类型和锻件尺寸；另一种是按照模锻设备的类型和吨位。锤上模锻加工余量和公差参照 GB/T 12362—2003《钢质模锻件 公差及机械加工余量》选取。在实际生产中，为简便起见，锤上模锻碳钢件的机械加工单边余量，高度方向（锤击方向）和长、宽方向的尺寸公差见表 2-4。

工厂也有按模锻锤吨位和锤上模锻件的长度来确定余量和高度公差的，如表 2-5 和表 2-6 所示。

表 2-4 锤上模锻件机械加工余量与公差

(单位: mm)



长宽方向 高度			精度 等级	精度等级																
				1	≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250		＞1250	
				2			≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250	
			3					≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		
精度等级			$\frac{L}{B}$	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	
1	2	3																		
≤30			＜2	1.0	+0.8 -0.4	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6									
			2～5	1.0	+0.8 -0.4	1.0	+0.8 -0.4	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6							
			＞5			1.0	+0.8 -0.4	1.0	+0.8 -0.4	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6					
＞30 ～60	≤30		＜2	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6	2.0	+1.4 -0.7	2.25	+1.6 -0.8	2.5	+1.8 -0.9					
			2～5	1.0	+0.8 -0.4	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6	2.0	+1.4 -0.7	2.25	+1.6 -0.8	2.5	+1.8 -0.9			
			＞5			1.0	+0.8 -0.4	1.25	+0.9 -0.5	1.5	+1.0 -0.5	1.75	+1.2 -0.6	2.0	+1.4 -0.7	2.25	+1.6 -0.8			

(续)

长宽方向 高度			精度 等级	1	≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250		＞1250	
				2			≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250	
				3					≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800	
精度等级			$\frac{L}{B}$	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	余量	高度 公差	
1	2	3																		
＞60 ～100	＞30 ～60	≤30	＜2			1.75	+1.2 －0.6	2.0	+1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	
			2～5			1.5	+1.0 －0.5	1.75	+1.2 －0.6	2.0	－1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	－2.2 －1.1	
			＞5			1.25	+0.9 －0.5	1.5	+1.0 －0.5	1.75	+1.2 －0.6	2.0	+1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.9	2.5	－1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	
＞100 ～150	＞60 ～100	＞30 ～60	＜2			2.0	+1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	3.6	+2.6 －1.3	
			2～5			1.75	+1.2 －0.6	2.0	+1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	
			＞5			1.5	+1.0 －0.5	1.75	+1.2 －0.6	2.0	+1.4 －0.7	2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	

(续)

长宽方向 高度			精度等级	1	≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250		＞1250	
				2			≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800		＞800～1250	
				3					≤50		＞50～120		＞120～260		＞260～360		＞360～500		＞500～800	
精度等级			$\frac{L}{B}$	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	余量	高度公差	
1	2	3																		
＞150	＞100 ～150	＞60 ～100	＜2					2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	3.6	+2.6 －1.3	3.75	+2.8 －1.4	
			2～5						2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	3.5	+2.6 －1.3		
			＞5						2.25	+1.6 －0.8	2.5	+1.8 －0.9	2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2		
	＞150	＞100	＜2									3.25	+2.4 －1.2	3.5	+2.6 －1.3	3.75	+2.8 －1.4	4.0	+3.0 －1.5	
			2～5								3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	3.5	+2.6 －1.3	3.75	+2.8 －1.4		
			＞5								2.75	+2.0 －1.0	3.0	+2.2 －1.1	3.25	+2.4 －1.2	3.5	+2.6 －1.3		

表 2-5 锤上模锻件单边余量和高度公差

锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
单边余量/mm	1 ~ 2	1.5 ~ 2.0	2 ~ 3	2.5 ~ 3.5	3.0 ~ 4.5	4 ~ 6
高度公差/mm	+1.0	+1.5	+1.5	+2.0	+2.5	+3.5
	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.5

表 2-6 模锻件长度和宽度尺寸公差 (单位: mm)

尺寸	≤50	>50 ~ 120	>120 ~ 260	>260 ~ 500	>500 ~ 800	>800
公差	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
	-0.5	-0.7	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5

对于台阶轴类的模锻件，当其端部的台阶直径与中间的台阶直径差别较大时，可将端部台阶直径的单边余量增大 0.5 ~ 1.0mm。

模锻件精度等级分为 3 级。其中 2 级精度适用于一般锤上模锻和摩擦压力机上模锻，3 级精度可用于合模胎模锻和自由锻锤上模锻，1 级精度可作为热模锻压力机上模锻参考。

敷料是为了简化零件上某些不便于终锻成形的部位（如齿轮的齿间部位、轴上的键槽和退刀槽等），而在净尺寸的基础上对零件所作的尺寸增大，以简化锻件形状。其中包括锻模斜度、圆角半径、锻件应有的孔对、心突缘（连皮）等。如航空用螺旋桨桨体的模锻件顶部定位块（见图 2-12），就需加上定位敷料，防止模锻中由于扭转而导致滑移。

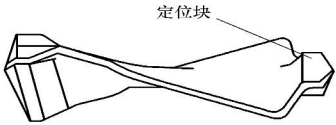


图 2-12 螺旋桨模锻件顶部定位敷料

3. 模锻斜度

在锤上模锻设有顶件装置，锻件的侧面均应设有模锻斜度，因此一般不能获得具有垂直侧面的锻件，否则锻件很难用手工自模槽中取出。

对于各种不同的金属和合金，合适的模锻斜度也是不同的。例如，硬铝所采用的模锻斜度，只需钢锻件的一半左右。但同一类的金属，合适的模锻斜度是出入不大的，对于钢锻件，一般不必考虑牌号的差异。

在生产的条件下，模锻斜度视锻件的外形和尺寸而定（见图 2-13），即根据锻

件各部分的长、宽和高的比例来确定的。其中， b 为锻件在定斜度处的宽度， h 为锻件在定斜度处的高度， L 为锻件在定斜度处的长度。

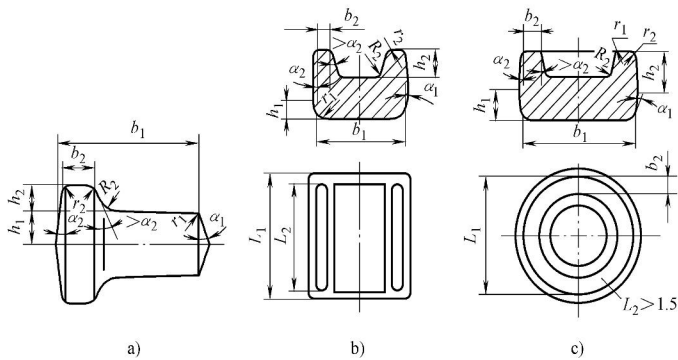


图 2-13 模锻斜度
a) 轴锻件 b) 方形锻件 c) 圆形锻件

实践证明，锻件越宽越矮及 h/b 之比越小，材料越易充满模槽，锻件也越容易从模槽中取出。因此，锻模斜度也可以取得小些。将长宽之比增大，也可获得同样的结果。外斜度 α 常用 5° 和 7° ，最大 10° ；内斜度 β 常用 7° 和 10° ，最大 12° 或 15° 。

表 2-7 模锻斜度

$\frac{h}{b}$	<1	$1 \sim 3$	$3 \sim 4.5$	$4.5 \sim 6.5$	$6.5 \sim 8$	>8
$\frac{L}{b}$						
≤ 1.5	5°	7°	10°	12°	15°	15°
≥ 1.5	3°	5°	7°	10°	12°	15°

从表 2-7 中可以看出，模锻斜度有一定的标准值，以便于采用统一的制模用的刀具或量具。另外，之所以采用 $3^\circ \sim 15^\circ$ 的范围，是因为不用顶杆时，采用小于 3° 难于将锻件从自型槽中取出；而当采用 15° 时，不管怎样复杂的锻件均易从模槽中取出。所得的斜度还应根据下列情况进行修正：

- 1) 对于锻件的内壁，应采用最近而较大的斜度，以免由于锻件的冷缩而导致锻件在模中被咬住。
- 2) 如锻件系用镗粗法来充满模槽时，则可取最近而最小的斜度。

3) 锻件同一周边的斜度应尽量采用统一值。

在工厂实际生产中，一般不用上述方法来求模锻斜度，一般内外模锻斜度均取 7° ；只有当锻件上孔很深时，内模锻斜度才取 10° 。

圆柱形锻件的端部，其模锻斜度之作法有两种（见图 2-14），图 b 方案为最常用的一种，不但制模方便而且省料。

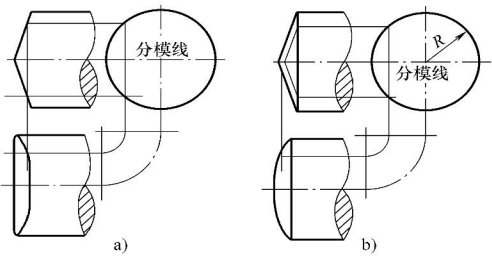


图 2-14 圆柱形锻件端部

a) 第一种方案 b) 第二种方案

4. 圆角半径

合理的圆角半径有利于金属充满型槽，起模方便和提高锻模寿命。外圆角半径 r （凸出处的圆角半径）和内圆角半径 R （凹进处之圆角半径）越大，模锻就越容易，如图 2-15 所示。

外圆角半径越小，那么在型槽内要充满相应于该半径的凹角就越困难。除此之外，型槽上相应处之圆角半径越小，在打击时由于应力集中，会使锻件在该处产生裂纹。在模具进行热处理时，锐角的圆角也会使模具产生裂纹。但是，外圆角半径太大会使锻件在圆角处的余量减小，而内圆角半径太大又会增加金属的消耗，见图 2-16 所示。

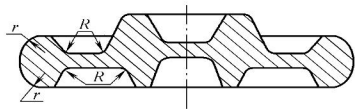


图 2-15 圆角半径

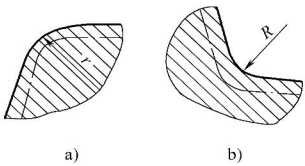


图 2-16 圆角半径对锻件余量的影响

a) 外圆角半径太大 b) 内圆角半径太大

圆角半径之具体数值可根据圆角半径处之锻件的宽度 b 与高度 h 之比，即 h/b 之比值按照表 2-8 中所列公式计算，如表 2-8 中所示，然后，根据下列各点选用圆角半径的标准值（1mm、1.5mm、2mm、2.5mm、3mm、4mm、5mm、6mm、8mm、10mm、12.5mm、15mm、20mm、25mm、30mm）。

表 2-8 圆角半径

（单位：mm）

h/b	r	R
<2	$0.05h + 0.5$	$2.5r + 0.5$
$2 \sim 4$	$0.06h + 0.5$	$3.0r + 0.5$
>4	$0.07h + 0.5$	$3.5r + 0.5$

当模锻系用镦粗法时，则选用最近而较小的标准值。对于以压入法成形和金属流动特别剧烈的部位，应适当加大圆角半径。

5. 孔的初形与冲孔连皮

在锤锻模上是不能够制出具有穿透孔腔的锻件，只能锻出留有连皮的盲孔，此连皮需在切飞边的同时去冲除。孔径小于 25mm，一般不宜冲孔，为利于充满终锻型槽，也可压凹。

1) 平底连皮（见图 2-17）。适用于 $d < 2.5h$ ，或 $d < 60\text{mm}$ 的情况，平底连皮厚度 s 和内四角半径 R 值见表 2-9。

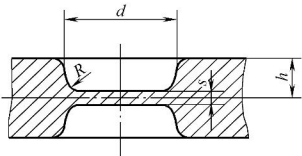


图 2-17 平底连皮

表 2-9 平底连皮厚度 s 和内四角半径 R 值

锻锤吨位/t	1 ~ 2	3 ~ 5	10
s/mm	4 ~ 6	5 ~ 8	10 ~ 12
R/mm	5 ~ 8	6 ~ 10	8 ~ 20

2) 斜底连皮（见图 2-18）。适用于 $d > 2.5h$ ，或 $d > 60\text{mm}$ 的情况。 h 为冲孔深度， $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$ ， $s_1 = 0.7s$ ，内圆角半径 R 同平底连皮。

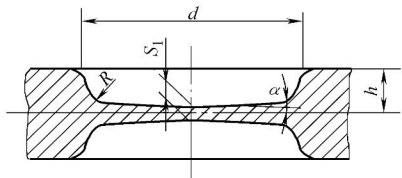


图 2-18 斜底连皮

3) 带仓连皮（见图 2-19a）。当预锻型槽采用斜底连皮时，终锻型槽采用带仓连皮。连皮厚度 s_2 及宽度 b 与飞边桥部的高度 $h_{\text{飞}}$ 及宽度 b 相同，凹仓的体积应能容纳斜底连皮的金属体积。 R_1 等于预锻型槽相应半径 R 的 1/2。

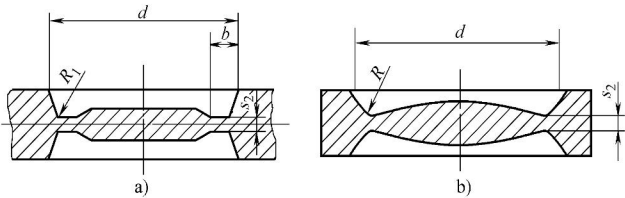


图 2-19 带仓连皮

a) 带仓连皮 b) 拱式连皮

仓部也可制成拱式（见图 2-19b）。

$$s_1 = 0.4 \sqrt{h}$$

圆角半径 $R = 5h$ ，过渡圆角半径由作图决定。

4) 具有单向的不透孔 (见图 2-20), 如果冲孔的深度并不受到零件图上所示孔深的限制, 则最好将孔底用一个半径 R_1 做圆角, 这样可使模具在冲孔深度最大时具有效高的寿命。这时圆角半径 R_1 可按下式来确定。

$$R_1 = \frac{d}{2 \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)}$$

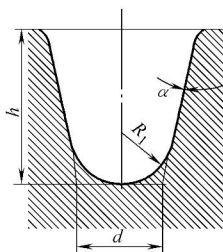


图 2-20 不透孔

如果孔径较小而又较深, 模锻时一般只压出凹坑, 通孔在机械加工时获得。这种盲孔对机械加工而言并不有利, 但它可以减小锻件在该部分的断面面积, 从而有利于充满终锻型槽。

当用自由锻方法制坯时, 对大于 $\phi 100\text{mm}$ 的孔, 一般都先冲出通孔, 然后再模锻。

6. 肋和腹板

锻件的肋充满较困难, 锻造时坯料温度要尽量高。坯料和下模接触时间长, 金属温度下降快, 不易充满。因此, 凸肋部分要尽可能放在上模。凸肋的高度尽量不超过宽度的 4 倍, 最多 6 倍, 即 $h \leq (4 \sim 6)b$ 。凸肋底面的圆角半径 R 应为最小圆角半径的 2 倍。

7. 错移、平面度、磨损量、毛刺

这些尺寸标准要根据设备导轨精度、模具的导向、导柱或锁扣的精度来定, 一般不超过切削加工余量。有时为加工方便, 锻件上还需要增加余块, 最后在切削加工中去除。

8. 材质系数

锻件的材质系数: 锻件的材质系数分为 M_1 和 M_2 二级:

M_1 : 含碳量 ω_c 小于 0.65% 的碳钢或合金元素总含量 ω 小于 3.0% 的合金钢;

M_2 : 含碳量 ω_c 大于或等于 0.65% 碳钢或合金元素总含量 ω 大于或等于 3.0% 的合金钢。

9. 绘制锻件图的规则

当模锻方法已经确定, 并已正确地选定了分模位置, 给定了合适的余量和公差、锻件斜度、圆角半径、孔的初形与冲孔连皮之后, 锻件的形状尺寸也就完全确定下来了。

为了使锻件图既能正确反映锻件形状尺寸又能反映锻件技术要求的检验功用, 绘制检验用锻件图时一般应按下面的规则:

1) 锻件尺寸的标注应考虑到: ①便于将锻件图上的尺寸与零件图上相应的尺寸比较, 以考核余量的大小, 但余量及附加料的大小不必直接注出; ②便于检验尺寸; ③简化锻件在检验时的划线工作; ④分模线不与中心线重合时, 应避免从分模

线标注尺寸；⑤在图样的备注栏里应指出未标注出的公差、模锻斜度、圆角半径和其他注释，以便简化该图。只有那些与图上备注有出入的公差（如冷缩时变动较大的尺寸，模具中容易磨损的凸出部分即相应于锻件上的凹坑部分的尺寸等）才在图上标注。

2) 在锻件图上，零件的轮廓用点划线表示出来，以便于标出切削加工余量，零件的尺寸可以在锻件尺寸的下面标注上，并加一括号。

3) 锻件图最好以 1:1 的比例来绘制（计算机绘的图以 1:1 的比例制成蓝图）。在绘制具有简单外形或尺寸超过 750mm 的锻件时可以例外。当用 1:2 或 2:5 的比例绘制大锻件时，复杂断面仍用 1:1 比例绘制。当锻件外形复杂、尺寸小于 50mm 时，应以 2:1 的比例绘制。这时为清晰起见，最好在图纸空白处以 1:1 的比例重绘一最能表现其特征的投影图，但不标注尺寸。

4) 在检验用锻件图上应标明验收锻件的基本技术条件。技术条件内容包括：凡是有关锻件质量而又不能在锻件图图形上表示者，都应写入锻件图的技术条件中。一般说来，技术条件中包含以下内容：未注明的模锻斜度和圆角半径、锻件沿中心线的错移量、允许的表面缺陷值、锻件允许翘曲范围、允许残留飞边和毛刺的大小、锻件壁厚差的规定、热处理硬度值、锻件的清理方法、印记项目和位置以及其他特殊要求，如取试样部位等。

2.2.3 锤上模锻成形方案

模锻工艺的确定除了与锻件分类、参数选择有关外，还与模锻方案、坯料计算有关，应综合考虑后确定。

1. 第 I 类直长锻件

1) 坯料长度和断面与锻件相近时，采用工步为卡压（或压扁），预锻，终锻（见图 2-21）。

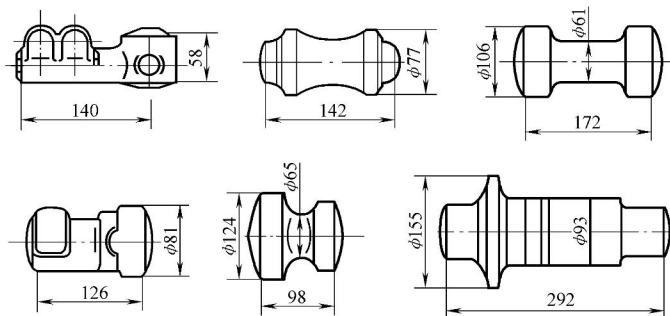


图 2-21 第 I 类锻件坯料长度和断面与锻件相近时

2) 坯料长度和断面与锻件相差较大时, 采用拔长, 滚压, 终锻工步。当锻件长度 L 长出坯料长度少于 k 时, 不需拔长。 k 值按所用模锻锤的吨位而定。1 ~ 2t 锤, $k = 20 \sim 35\text{mm}$; 3t 锤, $k = 35 \sim 45\text{mm}$; 5t 锤, $k = 45 \sim 50\text{mm}$ 。

拔长后都应滚压, 使坯料表面光滑, 氧化皮去除于净, 金属分配准确, 防止锻件产生折纹。如图 2-22 所示各锻件都采用拔长, 滚压, 终锻工步。为了减少错移, 一般不用预锻, 而将终锻型槽布排在锻模打击中心。断面变化剧烈的锻件, 为了提高锻模寿命, 当模块尺寸允许时, 可加预锻。

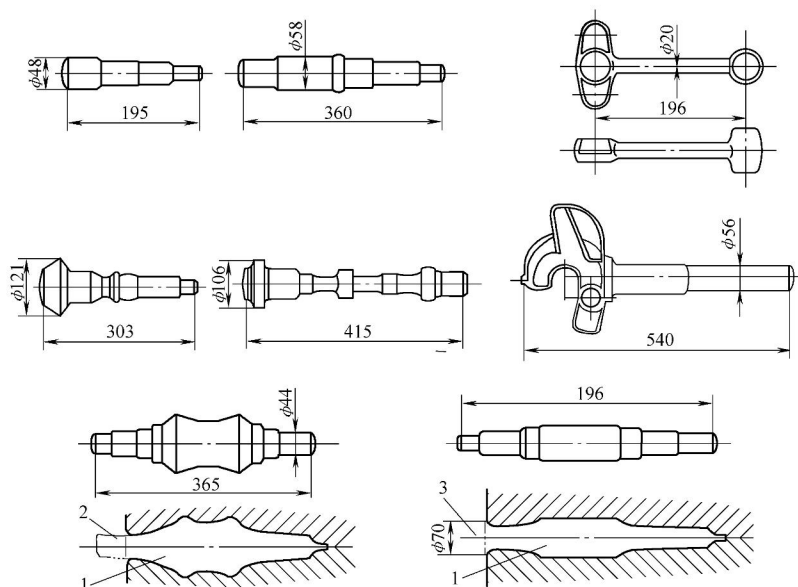


图 2-22 第 I 类锻件坯料长度和断面与锻件相差较大时

1—滚压型槽 2—拔长后钳夹头 3—未拔长钳夹头

3) 工字断面锻件如图 2-23 所示, 图 2-23a、b、c 采用工步为: 拔长, 滚压, 预锻, 终锻。图 2-23d 采用工步为: 拔长, 滚压, 成形, 预锻, 终锻。图 2-23e 因尺寸大, 工字断面浑厚, 可不用预锻。

2. 第 II 类弯曲轴线锻件

弯曲轴线锻件应采用弯曲或成形。如图 2-24a、e 所示, 因断面均匀, 采用工步为: 弯曲, 终锻。如图 2-24b、f 所示, 采用工步为: 滚压, 弯曲, 终锻。如图 2-24d 所示, 采用工步为: 拔长, 滚压, 成形, 终锻。如图 2-24c 所示有叉口, 其采用工步除与图 2-24d 相同外, 增加预锻工步。如图 2-24g 所示, 因平衡块间距离 B_1 、 B_2 太小, 不能弯曲而采用工步为: 滚压, 预锻, 终锻。

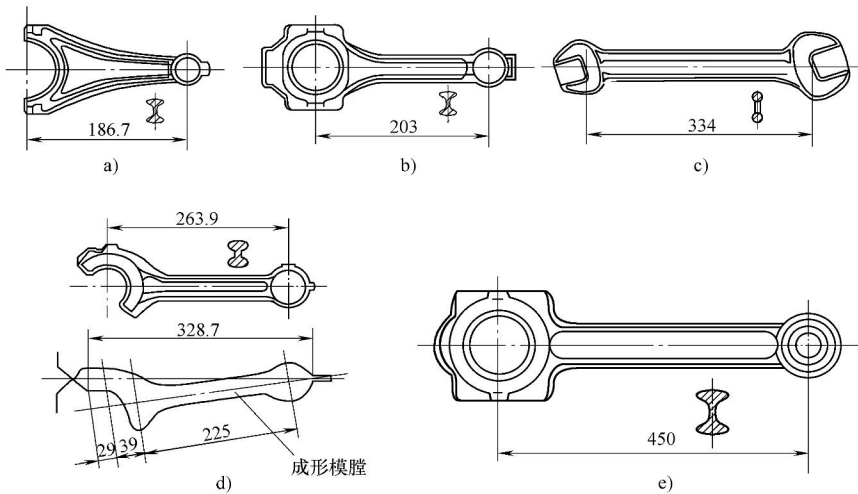


图 2-23 工字断面锻件

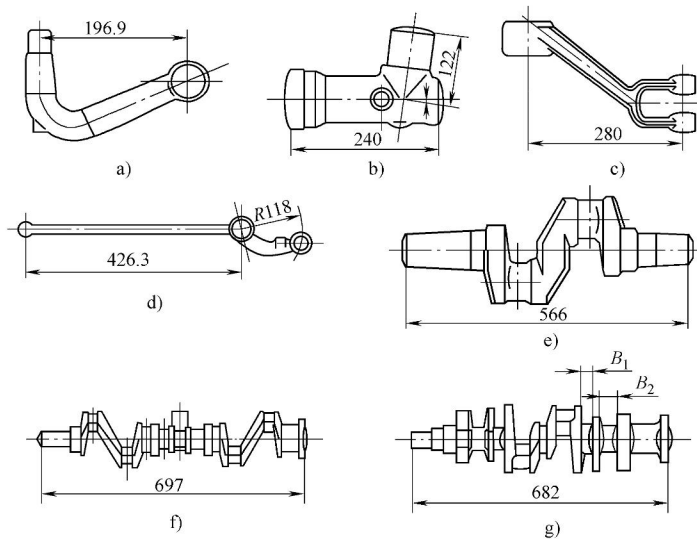


图 2-24 第Ⅱ类弯曲轴线锻件

3. 第Ⅲ类枝芽锻件

当锻件有枝芽时,可采用不对称滚压制坯。为了有利于金属充满型槽,一般均需预锻。如图 2-25 所示锻件,采用工步为:拔长(根据计算而定),滚压(不对称),预锻,终锻。

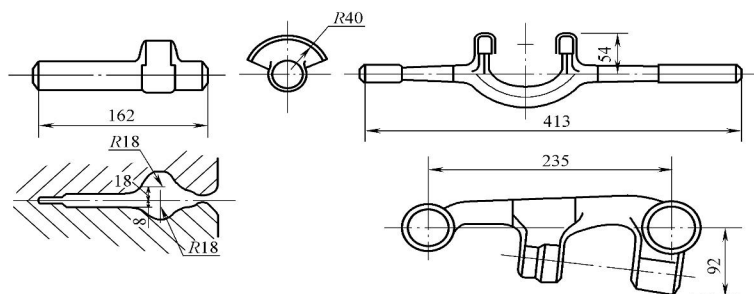


图 2-25 第Ⅲ类枝芽锻件

4. 第Ⅳ类叉形锻件

形状复杂的叉形锻件、难于充满型槽的锻件必须预锻。如图 2-26a、b 所示，因杆部短粗，采用工步为：压扁，预锻，终锻。如图 2-26c、d 所示，因杆部细长，采用工步为：拔长，预锻（劈开），终锻。如图 2-26e、f、g、h 所示，因凸台断面较大，叉口扁薄，一般采用工步为：滚压，预锻（劈开），终锻。

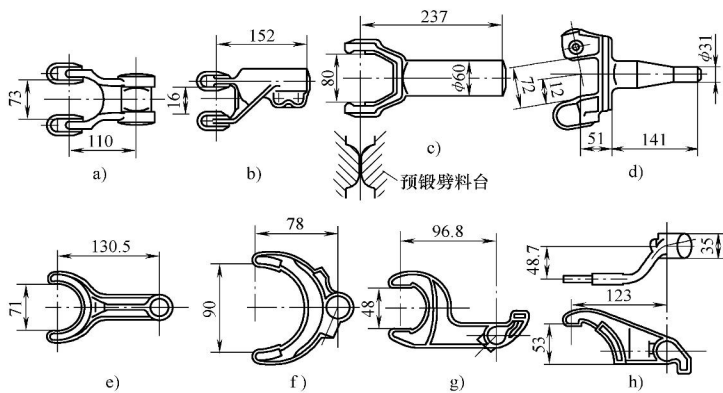


图 2-26 第Ⅳ类叉形锻件

5. 第Ⅴ类锻件

1) 齿轮、十字轴等锻件，常用工步为：镦粗，终锻（见图 2-27）。

2) 高毂深孔锻件，尤其是当下模冲头高出分型面时采用工步为：镦粗，成形镦粗，终锻（见图 2-28）。

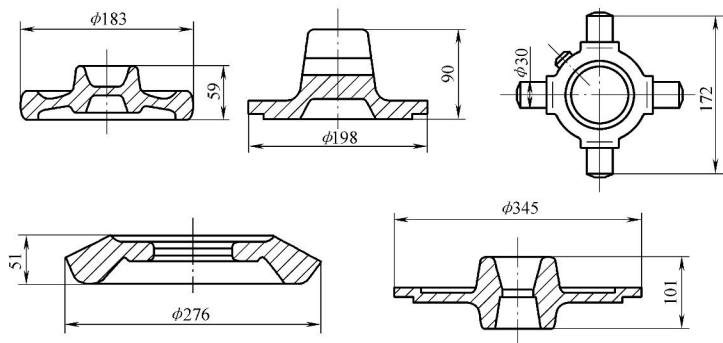


图 2-27 第Ⅴ类饼类锻件

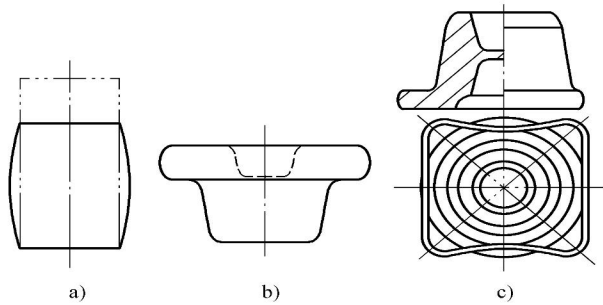


图 2-28 高肋深孔锻件

a) 锻粗 b) 成形锻粗 c) 锻件

3) 高肋、薄壁、薄辐锻件采用工步为：锻粗，预锻，终锻（见图 2-29）。

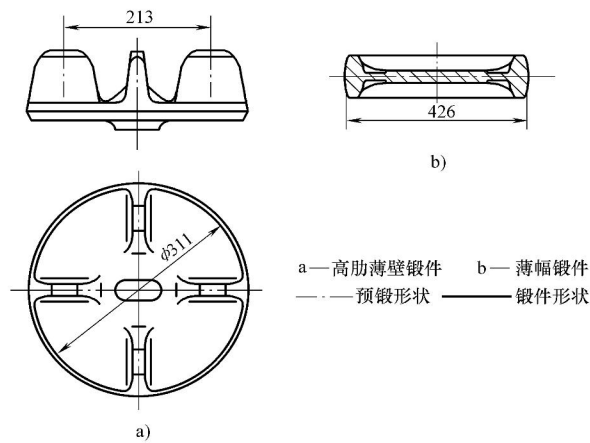


图 2-29 高肋、薄壁和薄辐锻件

a) — 高肋薄壁锻件 b) — 薄辐锻件
- - - 预锻形状 ——— 锻件形状

模锻方案的选择还应当包括模锻件是否采用调头模锻以及是否采用合锻的问题:

(1) 单件模锻 每一坯料锻制一个锻件。大多数大中型模锻件采用该方案。

(2) 调头模锻 每一坯料锻制两个锻件。锻完第一个锻件后, 调转 180° , 以第一个锻件作为钳夹头锻制第二个锻件, 这样可以节省钳夹头料。这种方案适用于重量小于 2.5kg , 长度小于 300mm 的中小型锻件。

细长、弯曲、扁薄或落差较大的锻件, 在调头模锻第二个锻件时常引起第一个锻件的变形, 不宜采用调头模锻方案。

单件模锻时无需钳夹头的长轴类锻件, 为了不增加劳动强度, 也不采用调头模锻。

(3) 一火多件 每一坯料连续模锻数个锻件。每锻完 $1 \sim 2$ 个锻件后, 用切断型槽的方法将锻件从坯料上分离。此方案适用于重量不大于 0.5kg 的小型锻件。为了便于操作, 避免金属温度过分降低, 坯料总长度不宜超过 600mm 。

(4) 一模多件 在同一模块上一次模锻数个锻件, 适用于重量小于 0.5kg , 长度小于 80mm 的小型锻件。通过锻件合理布排, 常可简化制坯, 节约金属。为了冷切边方便, 间距 s 不宜过小。

2.2.4 坯料计算

坯料一般采用热轧圆钢或方钢, 确定坯料时需要计算锻件重量和飞边重量。计算坯料是为了按标准规格选用坯料的直径和长度, 同时也是选择模锻工步和设计型槽的重要参数。

1. 锻件体积或重量

求出锻件重量, 是为了根据体积不变原理选择合适的坯料重量和坯料规格。

锻件重量指理论计算重量, 最终的重量是在锻件调试生产之后才确定的。

对于形状简单的锻件, 通常是将锻件划分为若干部分, 每一部分都是接近规则的几何形体, 如圆柱、棱柱、截锥台、棱锥台等, 最终总加起来。

对于形状复杂长轴的锻件, 建议用作断面图的方法计算。然后分别计算体积, 加上计算的飞边体积, 得到的就是锻件总体积。

$$V_{\text{总}} = V_{\text{锻}} + V_{\text{飞}}$$

总的体积乘以材质密度就是锻件重量。

(1) 飞边体积的计算 模锻时飞边充满飞边槽的情况, 视锻件成形时, 金属的充满方式和锻件形状而定。模锻时, 飞边并不完全充满飞边槽, 也不需要完全充满飞边槽。其计算公式如下:

$$V_{\text{飞}} = \xi A_f [L_{\text{周}} + \psi(b + b_1)]$$

式中 ξ ——飞边槽的充满系数, 其值见表 2-10;

- A_f ——飞边槽面积；
 $L_{\text{周}}$ ——锻件在分型面上的周长；
 $b、b_1$ ——飞边槽的桥部和仓部宽度；
 ψ ——锻件形状系数，其值见表 2-11。

表 2-10 飞边槽的充满系数 ξ

锻件类别	锻件重量/kg	充 满 方 式		
		镦粗法充满	压入法充满(简单件)	压入法充满(复杂件)
I、II、III、IV、VI	<1	0.4	0.5	0.6
	1~5	0.5	0.6	0.7
	>5	0.6	0.7	0.8
V	<1	0.3	0.4	0.5
	1~5	0.4	0.5	0.6
	>5	0.5	0.6	0.7

表 2-11 锻件的形状系数 ψ

锻件类别	锻件特征	ψ	锻件类别	锻件特征	ψ
I ~ IV	具有长轴线	4	V	平面图上为圆形	2
	平面图上具有弯曲轴线	4		平面图上为方形	4
	具有急剧弯曲轴线	4~6	VI	十字轴	0~5
	具有弯曲分型面	4~5		复全形状的锻件	4~6
	具有枝芽状	5~6			
	叉类锻件	4~6			

锻件上断面差大的过渡区和未作精确制坯即进行终锻的部分，计算时都应将面积适当放大。而锻件最大断面处的飞边，则往往需要适当减小。在断面变化较大和变形较剧烈的部位（例如材料必须反挤的部位）上，形成的飞边应多于断面均匀、变形程度较小的部位。

(2) 复杂长轴的锻件断面图计算方法 具体做法如下：

1) 计算毛坯的各断面面积 $A_{\text{计}}$ 及计算毛坯断面图。根据平面变形的假设计算所得的中间坯料称为“计算坯料”。它是长轴线类锻件选择制坯工步、确定坯料尺寸及设计拔长类制坯型槽的基本依据。

按平面变形假设计算坯料的任意断面面积，应等于该锻件相应部分断面面积与

飞边断面面积之和。毛坯各断面面积按下式计算：

$$A_{\text{计}} = A_{\text{锻}} + 2\xi A_{\text{f}}$$

式中 $A_{\text{计}}$ ——任一处计算毛坯断面面积；

$A_{\text{锻}}$ ——相对应处锻件的断面面积；

A_{f} ——相对应处飞边槽断面面积；

ξ ——飞边槽的充满系数，按表 2-10 选取。

在计算出锻件各部分的断面面积 $A_{\text{计}}$ 后，以比例系数 M 将各断面的 $A_{\text{计}}$ 用具有下列高度的线段代表：

$$h_{\text{计}} = \frac{A_{\text{计}}}{M}$$

式中 $h_{\text{计}}$ ——表示断面线图中，各相应断面的线段高度。

将这些线段从同一水平线开始，画在相应断面的引出线上，并将这些线段的端点连接起来，便可得到计算毛坯的断面线图，见图 2-30。

断面线图的特点是：其上各个部分的面积乘上比例系数 M ，即代表计算毛坯上相应部分的体积。

2) 计算毛坯各断面直径 $d_{\text{计}}$ 及计算毛坯直径图。计算毛坯各断面直径按下式计算：

$$d_{\text{计}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{计}}}$$

式中 $d_{\text{计}}$ ——任一处计算毛坯断面直径。

当计算出锻件各断面不同的直径 $d_{\text{计}}$ 及计算毛坯的长度 $L_{\text{计}}$ 后，将所得出的直径 $d_{\text{计}}$ 按大小画在相应断面的线上，再将端部各点用直线和光滑曲线连接起来，就得到计算毛坯直径图，见图 2-30。

3) 计算毛坯的平均断面面积 $A_{\text{平}}$ 及其平均直径 $d_{\text{平}}$ 。计算毛坯的平均断面面积及其平均直径按下式计算：

$$A_{\text{平}} = \frac{V_{\text{计}}}{L_{\text{计}}} = \frac{A_{\text{线}} M}{L_{\text{计}}}$$

$$d_{\text{平}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{平}}}$$

式中 $V_{\text{计}}$ ——计算毛坯体积；

$A_{\text{线}}$ ——断面线图의 总面积，其值可按坐标法或求积仪法求得；

M ——比例系数。

4) 计算毛坯的头部、杆部及颈部。见图 2-30，毛坯上 $d_{\text{计}} > d_{\text{平}}$ 的部分，即计算毛坯断面大于平均断面的部分叫做头部；毛坯上 $d_{\text{计}} < d_{\text{平}}$ 的部分，即计算毛坯断面小于平均断面的部分叫做杆部；毛坯上头部与杆部交接处的部分叫做颈部。

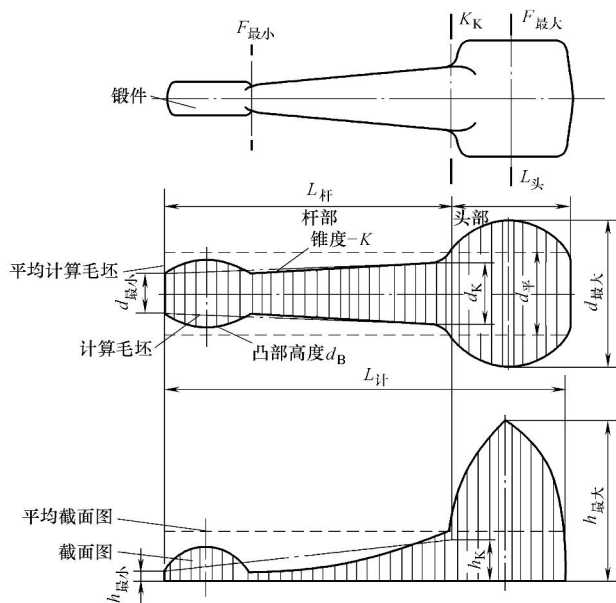


图 2-30 简单的计算毛坯（直径图）和断面图

5) 计算毛坯形状的修正和简化。当锻件上有冲孔连皮或压凹时, 则在那部分的变形接近轴对称变形, 若按公式直接计算所得的断面图和计算坯料图的图形有急突的变化, 甚至出现马鞍形, 这样就不仅不利于制坯, 更不利于在模锻型槽中的成形。因此在这种情况下, 计算所得的计算坯料断面图与计算坯料图一般都要在断面图上按面积相等的原则加以修正, 以得到圆浑外形的计算坯料。简化原则是应使减少部分体积等于增加部分体积, 见图 2-31, 并使简化后的 $d'_{\text{最大}}$ 来代替简化前 $d_{\text{最大}}$ 。

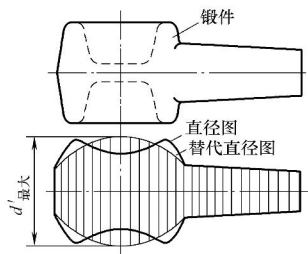


图 2-31 计算毛坯的简化

对于杆部具有由折线或曲线组成的轮廓线, 或杆部只有凸部时, 为了求出杆部与头部转接处的尺寸 d_k , 须将计算毛坯的杆部转化为截头圆锥体, 此时可用下列公式求得

$$d_k = \sqrt{3.82 \frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}} - 0.75 d_{\text{最小}}^2 - 0.5 d_{\text{最小}}}$$

d_k 的大小常可简便地从断面图上求出, 只须知道下列关系即可

$$d_k = 1.13 \sqrt{A_k} = 1.13 \sqrt{h_k M}$$

6) 简单计算毛坯与复杂计算毛坯。对只有一个头部和一个杆部的计算毛坯,称为简单计算毛坯。如果具有两个头部和一个杆部或者二杆一头,多个头部和多个杆部的计算毛坯就称为复杂计算毛坯。

复杂计算毛坯应转化为简单计算毛坯,因为选择制坯工步时是根据简单计算毛坯来考虑的,复杂计算毛坯转化为简单计算毛坯的方法可参见下例。

例,对于具有一头二杆的计算毛坯的转化法,如图 2-32a 所示,应向头部中央找一划分线,将其划分为两个简单计算毛坯。在确定划分线的位置时,应使每一个简单计算毛坯中,头部不足的体积 $V_{\text{头}1}$ 和杆部多余的体积 $V_{\text{杆}1}$ 相等。同样的计算方法应用于具有二头一杆的毛坯,如图 2-32b 所示。

待定划分线的位置可更简单地由断面图上定出,因为这里面有一个面积恒等的关系,即断面图上 $A_{\text{头}1} = A_{\text{杆}1}$ 。

这样,在定出划分线后,便可得到两个长度各为 $L_{\text{计}1}$ 和 $L_{\text{计}2}$ 的简单直径图和断面图。

2. 坯料的规格和长度

坯料体积 $V_{\text{坯}}$ 可由下式求得

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{锻}} + V_{\text{飞边}} + V_{\text{连皮}})(1 + \delta)$$

式中 $V_{\text{锻}}$ ——锻件体积 (mm^3);

$V_{\text{飞边}}$ ——飞边体积 (mm^3);

$V_{\text{连皮}}$ ——连皮的体积 (mm^3);

δ ——烧损率,加热至锻造温度,钢的平均烧损率可按表 2-12 选取。将所得体积乘以材质的密度就是毛坯的重量。

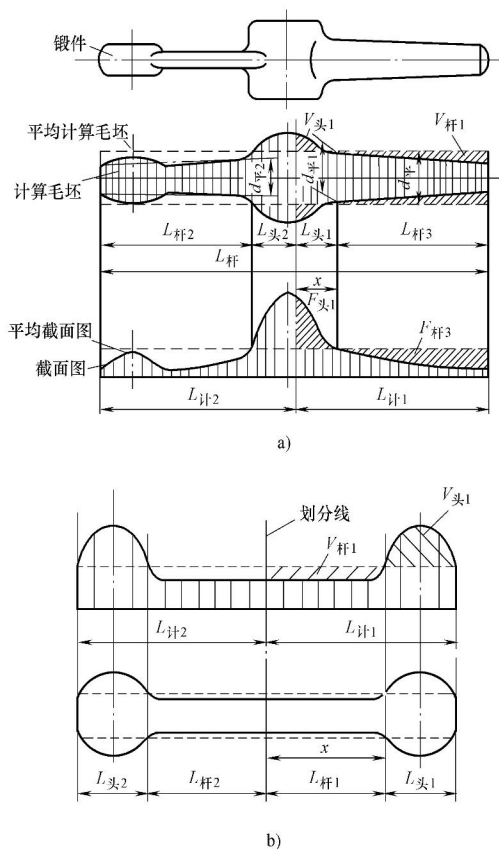


图 2-32 复杂计算毛坯转化为简单计算毛坯

a) 二杆一头 b) 二头一杆

表 2-12 烧 损 率

加热方式	室式煤炉、 室式油炉	室式煤气炉	半连续煤炉、 半连续油炉	半连续煤气炉	感应加热
δ	2.5% ~4%	2.5% ~3%	2% ~2.5%	2% ~2.5%	0.5% ~1%

选择合适规格和尺寸的原材料，保证按规定工序锻出所需锻件。

(1) 饼类锻件坯料规格的确定 这类锻件都有镦粗工步，镦粗时常用的长径比 m 为：

选择圆坯料的直径 $D_{\text{坯}}$ 或方坯的边长 $C_{\text{坯}}$ ，应考虑到坯料镦粗时不致产生弯曲、备料方便、节约金属材料等，应使坯料长度 $L_{\text{坯}}$ 与直径 $D_{\text{坯}}$ ($C_{\text{坯}}$) 之长径比 $m = L_{\text{坯}}/D_{\text{坯}} = 1.5 \sim 2.2$ 。

若 $m > 2.5$ ，坯料在镦粗过程中容易弯曲，而且操作不安全。若 m 过小，则往往给下料带来困难。因此，只要材料在规格的选用上允许，就要避免超出所给的长径比范围。

坯料的直径 $D_{\text{坯}}$ 或边长 $C_{\text{坯}}$ 可在下列范围内选择：

$$D'_{\text{坯}} = (0.95 \sim 0.83) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$
$$C'_{\text{坯}} = (0.87 \sim 0.77) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$

计算出 $C'_{\text{坯}}$ 或 $D'_{\text{坯}}$ 后，应按国家标准规格选用，假如所选坯料的直径为 $D_{\text{坯}}$ 或边长为 $C_{\text{坯}}$ ，然后再按下式确定其长度 $L_{\text{坯}} = 1.27V_{\text{坯}}/D_{\text{坯}}^2$ 或 $L_{\text{坯}} = 1.27V_{\text{坯}}/C_{\text{坯}}^2$ 。

(2) 杆类锻件坯料规格的确定 锻件计算毛坯的形状说明了锻件沿长度上金属分布的情况。模锻前合理的坯料形状应该是接近于计算毛坯的形状。计算毛坯是用来确定是否需要拔长工步或滚挤工步的依据，也是设计拔长、滚挤模槽和计算坯料尺寸的依据。

杆类锻件按锻件的最大横断面积来确定坯料直径。先计算坯料断面积：

$$A_{\text{坯}} = K_1 A_{\text{max}}$$

式中 $A_{\text{坯}}$ ——坯料断面积 (mm^2)；

A_{max} ——计入飞边的锻件最大断面积 (mm^2)；

K_1 ——系数。它与坯料在模锻过程中，坯料断面聚积的程度有关。可按表 2-13 数值选取。

表 2-13 系 数 K_1

采用的制坯工步	不制坯、压扁、拔长	拔长并滚压	滚压、卡压
K_1	0.95 ~ 1	0.75 ~ 0.9	0.7 ~ 0.85

选用表中系数 K_1 时，如锻件最大断面所占的区段较窄小，取表中的较小值。

反之，取较大值。当最大断面只有极小一段时，则用该锻长度上的平均断面积 $A'_{\text{坯}}$ 代替上式中的 A_{max} 进行计算。求得 $A_{\text{坯}}$ 后，即可按标准规格确定坯料直径：

$$D_{\text{坯}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_{\text{坯}}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{坯}}}$$

然后，计算出坯料长度：

$$L_{\text{坯}} = 1.27 \frac{V_{\text{坯}}}{D_{\text{坯}}^2}$$

如果有夹钳料头，则加上夹钳料头长度 $l_{\text{钳}}$ ：

$$L_{\text{坯}} = 1.27 \frac{V_{\text{坯}}}{D_{\text{坯}}^2} + l_{\text{钳}}$$

2.2.5 模锻锤吨位确定

锤上模锻时金属充满型槽角落，挤出多余金属形成飞边，所需要的能量是由锤头的落下供给，如果锤的吨位过小，打击能量不够，则金属难以充满型槽，不能保证锻件的形状和尺寸精度，降低了生产率，锻模受热严重寿命也低。相反，锤的吨位过大，除浪费设备能力外，容易打塌模具，大量金属会形成飞边还会影响型槽充满。所以锤的吨位应选得合适。

1. 经验公式

模锻所需锤的吨位（双作用模锻锤、单作用模锻锤）可根据锻件在分型面上的投影面积和锻件材料特点，参照表 2-14 按经验公式来计算。

$$G = (3.5 \sim 6.3)KS \quad (\text{kg})$$

$$G_{\text{单}} = (1.5 \sim 1.8)G \quad (\text{kg})$$

式中 G ——所需模锻锤（双作用）落下部分重量（kg）；

$G_{\text{单}}$ ——所需单作用锤落下部分重量（kg）；

S ——锻件平面图总变形面积（ cm^2 ），包括连皮及飞边，按仓部的 1/2 计算飞边面积；

K ——钢种系数，按表 2-14 确定；数值 6.3 用于要求高生产率的情况，而数值 3.5 用于只进行终锻工步而且生产率并不高的情况。

表 2-14 钢种系数 K

钢 号	K
含碳量低于 0.25% 的碳素结构钢,例如:10、20 及 Q215A	0.9
含碳量高于 0.25% 的碳素结构钢及含碳量低于 0.25% 的低合金钢,例如:45、A5、20Cr	1

(续)

钢 号	K
含碳量高于 0.25% 的低合金结构钢,例如:40Cr 及 45CrNi	1.1
高合金结构钢,例如:GCr15、45CrNiMoA 以及硅铬合金钢等	1.25

注:可将锤分为自由下落方式和加速下落方式两类。锤的下落方式是由缸的动力系统决定的。自由下落方式称单作用方式;加速下落方式称双作用方式,即锤在自重和外力共同作用下使锤加速下落。

2. 半经验公式

(1) 平面图为圆形的锻件 双作用模锻锤落下部分重量可按下列公式计算:

$$G_{圆} = (1 - 0.005D_{锻}) \left(1.1 + \frac{2}{D_{锻}}\right)^2 (0.75 + 0.001D_{锻}^2) D_{锻} \sigma_b$$

式中 $G_{圆}$ ——平面图为圆形锻件所需锤吨位 (kg);
 $D_{锻}$ ——锻件直径 (mm);
 σ_b ——模锻终止时 (一般不低于 1000℃) 金属的强度极限 (10MPa), 可参考表 2-15 选取。

表 2-15 钢在锻造温度下的强度极限 σ_b 室温时的强度极限

室温度下的强度极限 $\sigma_b/10MPa$	锻造温度下的强度极限 $\sigma_b/10MPa$					
	800℃	900℃	1000℃	1100℃	1200℃	1300℃
40	6.6	4.5	3	2.2	1.9	1.4
60	11.1	7.5	5.4	3.6	2.2	2
80	16.5	11.1	7.5	5.1	3.6	2.4
100	23	15.9	10.9	6.8	6	3

(2) 长轴类锻件 应考虑锻件形状对所需变形功的影响, 将上式乘以修正系数而得

$$G_{长} = G \left(1 + 0.1 \sqrt{\frac{L_{锻}}{B_{均锻}}}\right)$$

式中 $G_{长}$ ——长轴线类锻件所需锤吨位 (kg);
 G ——将平面图面积为 $A_{锻}$ (mm²) 的长轴锻件, 保持 $A_{锻}$ 不变转化为圆形, 以其折合直径 $D_{折} = 1.13 \sqrt{A_{锻}}$, 按上述公式计算所得的吨位 (kg);
 $L_{锻}$ ——锻件长度 (mm);
 $B_{均锻}$ ——锻件在平面图上的平均宽度 (mm)。

模锻锤行程不固定, 锤头可在允许最低位置前任意位置回程, 打击能量在变形过程中全部消耗完。根据锻件变形所需功的大小, 可控制打击能量和打击次数, 并

可在一定范围内超载进行模锻，用小锤干大活。

2.3 锤上模锻型槽设计

2.3.1 终锻工序和型槽的选择

1. 终锻型槽

终锻型槽是热锻件形状的反印，其内空形状应和模锻件的形状相同（分型面的选择、斜度和圆角等参数也对应一致）。使坯料最后塑性变形到模锻件所需要的形状和尺寸的型槽，由它获得带有飞边的最后形状和尺寸的锻件。终锻型槽按热锻件图设计制造的，但因热模锻件冷却时要收缩，终锻型槽的尺寸应比冷模锻件尺寸放大一个收缩量。终锻型槽是按热锻件图制造和检验的。

终锻型槽的设计主要依据热锻件图，将冲孔连皮部分计入热锻件图，并选用适当的飞边槽形式。一般地，把锻件的较难充满部分置于上模。

热锻件图按冷锻件图计入冷缩率（钢锻件的终锻温度一般取为 1000°C ），所以材料收缩率为 1.5% ，细长杆类锻件或打击次数较多，终锻温度较低，冷缩率要适当减小，沿锻件长度方向收缩率取 1.2% 。

在设计和绘制终锻型槽时应考虑：

一般情况下，终锻型槽的内空形状与热锻件图完全相同。但在某些情况下，为了保证能锻出合格的锻件，终锻型槽的某些地方必须与热锻件图有差异。

1) 当利用小设备锻大锻件时，由于锤的打击能量不足，难以将锻件打靠。为了保证锻件在高度方向的尺寸能在公差范围内，可适当地减小终锻型槽的深度尺寸，减小量一般在 $0.5 \sim 3\text{mm}$ 范围内，要根据打击能量不足的情况来确定。如果用大设备锻小锻件，就容易使模具的分型面打塌，造成锻件高度尺寸过小。为了保证锻件尺寸在公差范围内，并保证模具使用寿命，可把终锻型槽深度尺寸按锻件的允许正公差加深。

2) 型槽易于磨损部位的尺寸可较热锻件图略小，以延长锻模寿命。例如十字轴，在四个轴的根部金属流动较为剧烈，因此轴的根部磨损极快，此时轴根部尺寸 $\phi 1\text{mm}$ 应按其允许的负公差缩小，轴的顶部 $\phi 2\text{mm}$ 则按锻件的公称尺寸设计型槽。这样在根部磨损到一定量时，仍能符合锻件的尺寸要求。终锻型槽易磨损处，应在锻件负公差范围内，预先增加磨损量，以提高型槽寿命。例如锻造齿轮，型槽在轮辐处易磨损，锻出的锻件轮辐厚度 d 增大，因此应将热锻件图上的尺寸比锻件图上的尺寸相应减小 $0.5 \sim 0.8\text{mm}$ 。

3) 型槽深凹处常积存氧化皮，不易吹除干净，妨碍金属充满，致使锻件在该处“缺肉”。应在此部位适当加深型槽尺寸，其热锻件图在锻件端头易于积聚氧化

皮处加深约 2mm。

4) 当切边冲孔时锻件可能变形而影响余量时，应在该部位适当加大型槽尺寸。如带有四角扁薄法兰的锻件，应考虑切边时的四角变形。这四角的变形范围大约 5mm，变形拉薄量大约 1.5mm。

5) 应考虑坯料在下型槽的定位、在多次锻击过程中坯料的定位、以及切飞边时的定位问题。例如图 2-33 所示的锻件具有较高的肋，下面又是平的，不易定位，模锻时很容易转动。第一锤打出的肋会被第二锤打坏，因此需在热锻件（见图 2-33）上增设一定位余块。

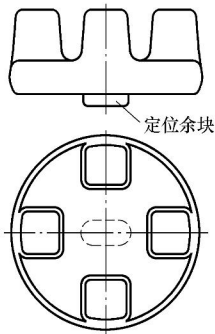


图 2-33 需增设定位块的锻件

由于终锻时锻件变形抗力最大，终锻型槽受力较其他型槽大，因而型槽应放置在靠近锻模的中心部位，以防偏心打击引起锻模错移及损坏锤杆。

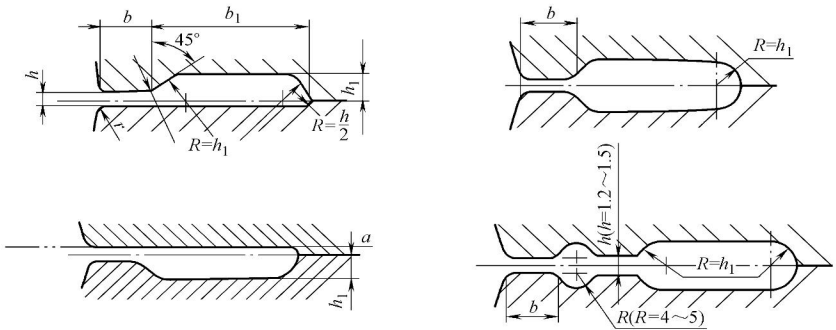
2. 飞边槽

(1) 飞边槽形式

开式模锻时，终锻型槽沿分型面设置有飞边槽。飞边槽增大金属流出型槽的阻力，有助于充满型槽，减弱上下模面打击（缓冲）和容纳多余金属。

飞边槽的结构分为桥部和仓部。桥部较薄，金属冷却快，起阻流金属的作用，使型槽四周产生阻力，迫使金属充满型槽；仓部起容纳多余金属的作用。飞边槽的主要结构尺寸参数是桥部高度 h 和桥部的宽高比 b/h 。 b/h 越大， b/h 越小，则阻流作用越大。生产实践经验表明， $b/h = 4 \sim 6$ 比较适宜。常用的飞边槽有四种形式，如表 2-16 所示。

表 2-16 飞边槽形式



(续)

(单位:mm)														
毛边槽 编号	高度尺寸		入口处半径 r			宽度尺寸								
						第一组			第二组			第三组		
	h	h_1	<20	20~40	>40	b	b_1	A_k/mm^2	b	b_1	A_k/mm^2	b	b_1	A_k/mm^2
1	0.6	3	1	1	1.5	6	18	52	6	20	61	8	22	74
2	0.8	3	1	1.5	1.5	6	20	69	7	22	77	9	25	88
3	1.0	3	1	1.5	2	7	22	80	8	25	91	10	28	104
4	1.6	3.5	1	1.5	2	8	22	102	9	25	113	11	30	155
5	2.0	4	1.5	2	2.6	9	25	136	10	28	153	12	32	177
6	3.0	5	1.5	2	2.5	10	28	201	12	32	232	14	38	278
7	4.0	6	2	2.5	3	11	30	268	14	38	344	16	42	385
8	5.0	7	2	2.5	3	12	32	343	15	40	434	18	46	506
9	6.0	8	2.5	3	3.5	13	35	435	16	42	530	20	50	642
10	7.0	10	3	3.5	4	14	38	601	18	46	745	22	55	903
11	8.0	12	3	3.5	4	15	40	768	20	50	988	25	60	1208

1) 桥部位于上模, 温度低, 不易磨损, 用于一般锻件。

2) 桥部位于下模, 用于切边时需将不对称锻件翻转或整个锻件均在下模成形的锻件。

3) 仓部较大, 可容纳较多的金属。用于大型、复杂锻件。

4) 桥部增加阻力沟, 以便更大地增加金属外流阻力, 迫使金属充满深凹复杂的型槽, 多应用于局部。

飞边槽的尺寸与锻件的大小、复杂程度以及型槽四周的阻力大小有关。飞边槽尺寸的计算方法如下:

1) 算法。用经验公式计算桥部高度:

$$h = 0.015 \sqrt{A_f}$$

式中 h ——飞边槽桥部高度;

A_f ——锻件在水平面上的投影面积。

根据 h 值, 可由表 2-16 查得飞边槽其他有关尺寸。

表 2-16 中宽度尺寸分三组: 第一组用于镦粗充满, 因充满容易, 故宽度可小一些; 第二组用于压入充满, 充满困难一些, 因而宽度适当增加; 第三组用于很复杂的锻件, 因充满困难, 故宽度取得更大。

2) 吨位法。根据生产经验, 常按锻锤吨位确定飞边槽尺寸, 见表 2-17 所示飞

边槽尺寸与锻锤吨位的关系。

表 2-17 飞边槽的尺寸与锻锤吨位的关系 (单位: mm)

锻锤吨位/t	h	b	b_1	h_1	r
1	1.0~1.6	8	22~25	4	1
2	1.8~2.2	10	25~30	4	1.5
3	2.5~3.0	12	30~40	5	1.5
5	3.0~4.0	12~14	40~50	6	2
10	4.0~6.0	14~16	50~60	8	2.5
16	6.0~9.0	16~18	60~80	10	3

注: 1. 锤吨位偏大或偏小时, h 适当修改。

2. 锻件较复杂时, b 、 b_1 适当增大。

3. 钳口

在终锻型槽前面有空腔, 叫做钳口。钳口是用来放置钳子和钳夹头, 以便于从型槽中取出锻件, 如图 2-34 所示。在制造锻模时, 钳口亦可作为浇口, 浇入熔化的铅、盐 ($30\% \text{KNO}_3 + 70\% \text{NaNO}_3$) 等低熔点物质, 来复制型槽的形状。如精度要求不是很高的大锻件, 可用石蜡浇注以检查型槽尺寸。

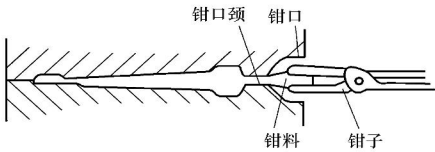


图 2-34 钳口操作

钳口形式如图 2-35 所示。连接钳口与型槽的沟槽称为钳口颈。钳口颈较飞边的厚度大, 增强了锻件和钳夹头连接的强度, 便于锻件起模。钳口尺寸见表 2-18 和表 2-19。

表 2-18 钳 口 尺 寸 (单位: mm)

钳夹头直径 d	B	h	R_0	钳夹头直径 d	B	h	R_0
<18	50	20	10	60~65	120	55	15
18~28	60	25	10	65~75	130	60	15
28~35	70	30	10	75~85	140	65	20
35~40	80	35	15	85~90	150	70	20
40~50	90	40	15	95~105	160	75	20
50~55	100	45	15	105~115	170	80	20
55~60	110	50	15				

表 2-19 钳口颈尺寸 (单位: mm)

锻件质量/kg	b	a	l
<0.2	5	1	$l \geq 0.5l_0$ l_0 ——锻模外壁最小厚度
0.2~2	6	1.5	
2~3.5	7	2	
3.5~5	8	2.5	
5~6.5	10	3	
6.5~8	12	3.5	
8~10	14	4	

当相邻两个钳口间的壁厚 C 小于 15mm 时, 应开通此壁, 将终锻型槽和预锻型槽的钳口做成公共钳口, 如图 2-36 所示。

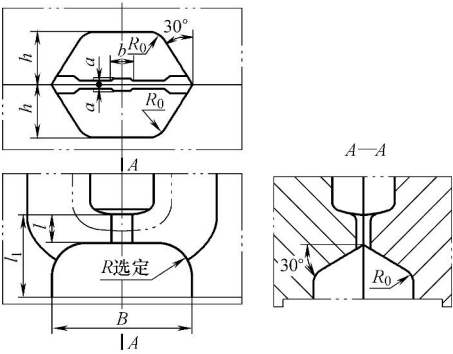


图 2-35 钳口形式

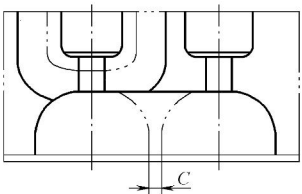


图 2-36 公用钳口

如钳口专为锻件起模用, 象饼类锻粗无夹钳头锻件, 其钳口应按特别形式钳口 (见图 2-37、表 2-20) 设计。

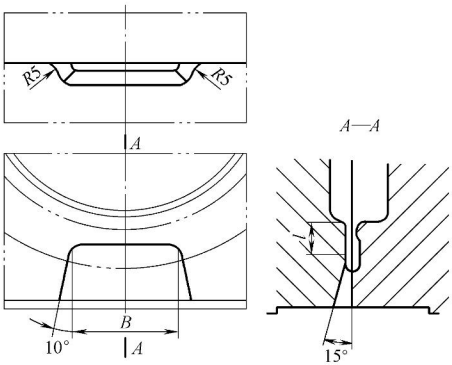


图 2-37 饼类锻粗无夹钳头钳口

表 2-20 饼类锻粗无夹钳头钳口尺寸

锻锤吨位/t	<2	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 16
B/mm	50	65	80	100	120

当锻造尺寸较大、形状复杂、而材料价格又高的锻件时，为节约金属，也不设置夹钳料头，在终锻型槽的两侧设计起模沟槽，便于用撬杠伸进飞边的底部以帮助起模，如图 2-38 所示。

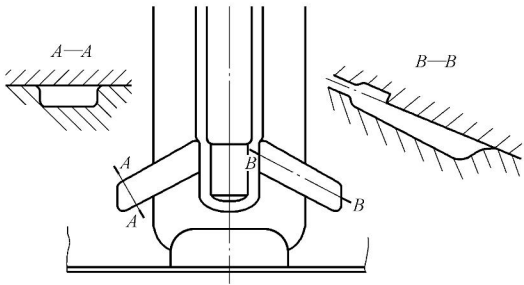


图 2-38 起模沟槽

如钳口仅用于浇铸铅液（或金属盐检验）型槽时，可取 $B = G + 30(\text{mm})$ 。G 为锻件重量（kg）数值。

2.3.2 预锻工序和型槽的选择

为了防止终锻时金属不合理的变形流动或变形阻力太大引起的汇流和折纹等缺陷，通常具有工字形断面的锻件、叉形、枝芽状锻件和具有高肋、深孔的锻件都需进行预锻。预锻型槽形状与终锻型槽基本相似，预锻型槽的目的主要是使经过制坯后的坯料，在局部范围内进行形状调整，改善金属在终锻型槽里的流动条件，为锻件易于充满终锻型槽做好形状准备，提高锻件质量，同时减轻终锻型槽的负担和磨损，从而提高锻模的寿命。但是采用预锻型槽也带来一些缺点：使终锻型槽产生偏心打击，上下模容易错模；增加了模块尺寸，有时甚至需要两套模具联合模锻，增加了设备数量，生产率有所降低。所以应根据需要和具体情况综合分析来选用预锻型槽。

对形状简单的模锻件，在批量不大时，不采用预锻型槽。只有当锻件形状复杂，成形困难，且批量较大的情况下，设置预锻型槽才是合理的。

预锻型槽和终锻型槽并排排列，锤上模锻时，在预锻时上下模不能打靠，操作时坯料在预锻型槽中打击 2 ~ 5 锤后，平移或翻转 180°，移至终锻型槽中进行终锻。

预锻型槽是根据终锻型槽（热锻件图）成形有困难或容易产生缺陷的地方来设计的，所以一般只需在图纸上绘出与终锻热锻件图不同的那些断面和尺寸。在设计预锻型槽时要注意以下情况：

1) 预锻型槽的四周不设置飞边槽，模锻时由于打不靠，仍有少量飞边形成。预锻型槽的横断面面积等于终锻型槽面积加上飞边面积（见图 2-39）。

2) 为使预锻后的毛坯在终锻时以镦粗成形为主，预锻型槽宽度比终锻型槽小 1~2mm，高度比终锻型槽大 2~5mm，模锻斜度一般同终锻型槽。但对于型槽较深的部分，为了便于拔模，预锻型槽拔模斜度可适当增大（见图 2-40），其值可按表 2-21 选取。

对于预锻型槽中必须依靠压入的部位，在预锻型槽设计时，应使预锻后锻件的侧面在终锻型槽里变形，使其一开始就与型槽壁接触，限制金属的剧烈径向流动，迫使金属向型槽深腔挤入填充。具体应使其高度应略小于终锻型槽高度，即 $h' = (0.8 \sim 0.9)h$ ；顶部宽度相同，即 $a' = a$ （见图 2-41）。

表 2-21 预锻、终锻型槽斜度对应值

终锻模槽	3°	5°	7°	10°	12°	15°
预锻模槽	5°	7°	10°	12°	15°	20°

3) 预锻型槽各处圆角半径应适当加大（见图 2-42）。

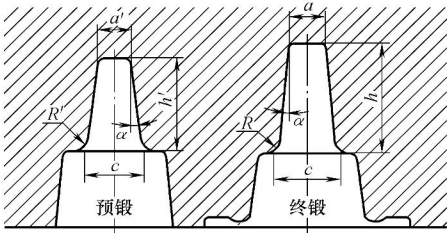


图 2-41 压入型槽的预锻与终锻尺寸关系

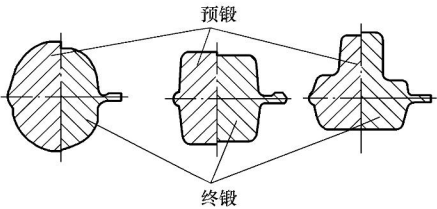


图 2-39 预锻与终锻的横断面变化

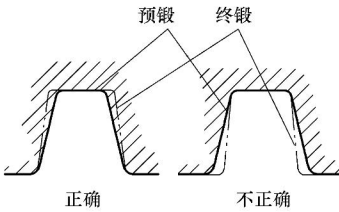


图 2-40 预锻、终锻型槽斜度

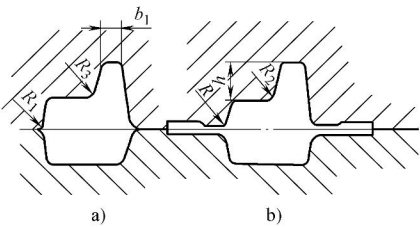


图 2-42 预锻型槽圆角半径
a) 预锻 b) 终锻

对于型槽入口处圆角 R_1 ，可按下式计算：

$$R_1 = R + C$$

式中 R 是终锻型槽边缘圆角半径，与型槽深度有关， C 值与型槽深度的关系可查表 2-22。

表 2-22 圆角半径的增大值 (单位: mm)

型槽深度	< 10	10 ~ 25	25 ~ 50	> 50
C	2	3	4	5

为了便于制造，可以在计算所得的数值中取较大的一个值，作为统一的圆角半径。

对于锻件凸部或肋部处的转角半径：
当 $h \leq b_1$ 时， $R_2 = R_3$ ；当 $h > b_1$ 时， $R_3 = 1.2R_2 + 3\text{mm}$ 。

对于锻件急转弯处或断面突然改变的地方，其圆角半径也应适当增大，见图 2-43。

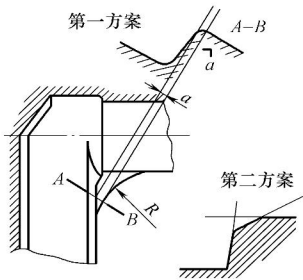


图 2-43 锻件急转弯处或断面突然改变的圆角半径

4) 叉形劈开部分。当模锻叉形锻件时，在预锻型槽中必须采用劈开台进行分料。劈开（料）台的形式有两种，见图 2-44。一般情况下均采用形式 a，窄而深时采用形式 b。

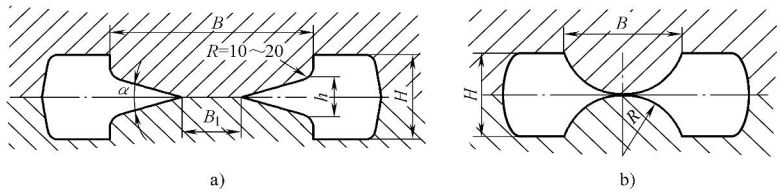


图 2-44 叉形锻件劈开（料）台

一般叉口较宽的情况下，采用图 2-44a 劈料台形式，型槽参数： $B_1 = 0.25B$ ($0.8\text{mm} < B_1 < 30\text{mm}$)； $h = (0.4 \sim 0.7)H$ ， $\alpha = 10^\circ \sim 45^\circ$ 。

当 $\alpha > 45^\circ$ ，且叉部较窄时，可使用图 2-44b 劈料台形式。即在叉的内侧面上不做成斜面，而是用一个选定的 R 将两侧连接起来。

5) 带工字形断面的锻件（见图 2-45）。当锻件具有工字形断面时，如不采用预锻型槽或设计不当时，易使锻件产生折叠。设计工字形断面的预锻模槽时，应按照预锻与终锻模槽面积相等的原则，即中间冲头挤出的面积等于肋部增加的面积加上产生飞边的面积。具体是根据工字形的相对高度 h/b 值的大小来决定模锻工步，设计时可按以下三种形式选用：

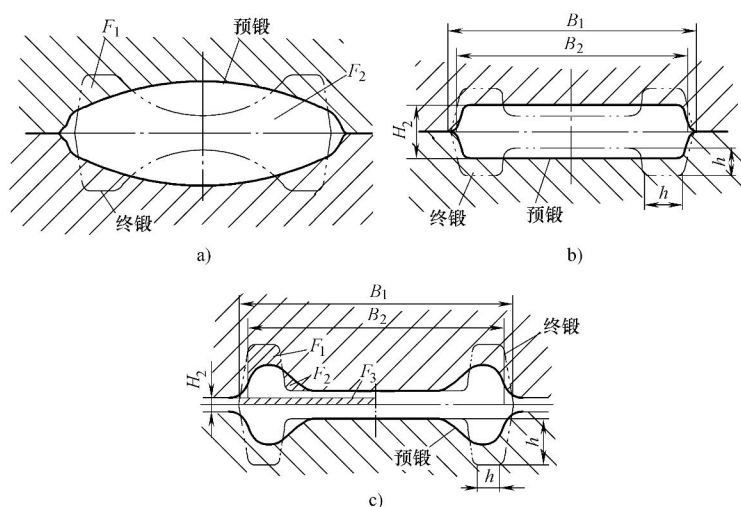


图 2-45 工字形断面的锻件

a) 圆形断面预锻槽 b) 长方形断面预锻槽 c) 圆浑形工字断面预锻槽

第一种形式：用于 $h/b < 1$ 的情况，锻坯采用椭圆形断面，不采用预锻。用于两端充满不太困难的情况下，见图 2-45a。可将预锻型槽的相应断面设计成椭圆状的断面，使预锻型槽的断面 A_2 等于终锻型槽的断面 A_1 ，即 $A_1 = A_2$ 。

第二种形式：当工字形断面尺寸 $h < 2b$ 时（见图 2-45b），预锻型槽可设计成长方形断面，其断面尺寸为

$$B_2 = B_1 - (2 \sim 6) \text{ mm}; H_2 = A_1 / B_2$$

式中 A_1 ——终锻型槽断面面积；

B_1 ——终锻型槽的宽度；

B_2 ——预锻型槽的宽度；

H_2 ——预锻型槽的深度。

第三种形式：当工字形断面尺寸 $h > 2b$ 时（见图 2-45c），预锻型槽则应设计成圆滑的工字形断面。预锻型槽的宽度 B_2 可与终锻型槽的宽度 B_1 一样宽，也可设计成比 B_1 小 1~2mm，要视锻件的大小而定。工字形断面的中间辐板厚度，通常设计成和终锻型槽一样厚。预锻时已把多余金属排到分型面上，通常按 $H_h = 3\text{mm}$ 计算。

可用作图法来确定预锻型槽的尺寸，作图原则是：相邻处必须是圆滑的曲线连接；预锻型槽由于在转角处加大圆弧而增加的面积 A_2 ，要等于肋部高度减小后而

减少的面积 A_1 ，即要使 $A_1 = A_2$ 。

在满足上述的两个原则后，预锻型槽肋的深度 H_2 就可由图上测量而定。

6) 对于具有难以充满的高肋，见图 2-46，应视具体情况适当减小肋的高度，增大顶部圆角，使面积 $A \leq B$ ，以防止终锻时金属倒流，形成折纹。

7) 对于带枝芽的模锻件，为了使金属易于向枝芽方向流动，可增大该处圆角半径，以圆滑过渡，从而简化形状。为了增大金属流向飞边的阻力，对于特别难充满部分，可在飞边桥部增设阻力沟。在设计预锻槽时，应尽量使枝芽形状简化，多采用阻力沟，见图 2-47。

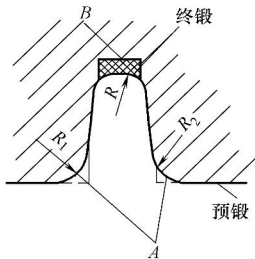


图 2-46 高肋锻件预锻

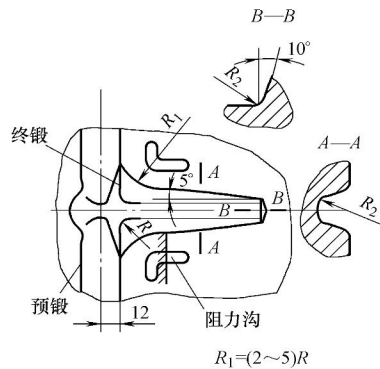


图 2-47 枝芽锻件阻力沟

8) 对带有落差和平衡锁扣的锻件，在预锻型槽倾斜分型面应加大间隙，以容纳多余的金属。

总之，设计预锻型槽时不仅要考虑到终锻型槽，而且还要联系到前一道制坯型槽，也就是要求制坯型槽锻出的形状能保证金属充填好预锻型槽。

2.3.3 制坯工序和型槽的选择

为了终锻时金属能很好地充满型槽，必须预先在制坯型槽内制坯完成坯料的重量和形状的体积分配，锻出零件雏形。锤上制坯型槽主要有镦粗、压扁、拔长、滚压、压肩、弯曲和成型型槽等几种，绝大多数情况，制坯和模锻工步是在同一锻模上完成的。由于锤上模锻时金属充满锻模型槽性能好，因而其中间坯料的形状可以较其他锻压设备简单一些。

1. 镦粗工序和型槽的选择

对于第 V 类短轴线类锻件，按轴对称变形要求中间坯料按锻件纵断面形状合理分配金属，并符合锻件平面图形状。主要采用的制坯工步为镦锻类制坯工步。

(1) 镦锻制坯的基本要求 短轴线类锻件大多是采用较小直径的坯料，首先经过镦粗或成型镦粗、冲孔等镦锻制坯工序后，再在开式或闭式模中终锻成形。几

乎所有的齿轮、凸缘、法兰等短轴线类锻件都要经过镦粗制坯后再进行模锻，使坯料形状接近于锻件形状。模锻时坯料容易放在型槽中心或便于在型槽中放稳，减少模锻的锤击次数，有利于终锻成形和提高型槽寿命。同时镦粗时能很容易地去掉坯料上的氧化皮，这对于使用普通加热方法是非常重要的。模锻锤在金属充满性能较好的设备上模锻时，中间坯料的形状可以简单些。

在整个变形过程中，打击力方向与坯料轴线方向一致，锻件按轴对称方式变形，中间坯料应按锻件纵断面形状合理分配金属，并符合锻件平面图形状。制坯工序应注意：

1) 制坯应按锻件纵断面形状（轮毂、轮辐、轮缘的比例），以分流面为基准合理分配金属，满足模锻时各部分成形的需要。

对于轮毂较高的法兰锻件，制坯时应保证中心部分有较多的金属。如采用自由镦粗制坯时，坯料中心部分（相当于轮毂部分）偏低（高度小）（见图 2-48a），轮毂部分就可能充不满，因此需采用成形镦粗。

对于轮缘部分金属占主要比重的套环锻件，制坯时应增大镦粗直径。但是，若镦粗后的中间坯料直径过大，则轮缘部分可能充不满；若中间坯料的直径偏小，则可能形成折纹（见图 2-48b），此时亦可以考虑采用成形槽镦粗。

对于轮毂、轮缘部分都需兼顾的齿轮。锻件，制坯时应合理分配金属，坯料形状更接近于锻件形状，既保证轮毂、轮缘充满，又要防止产生折纹（图 2-48c）。

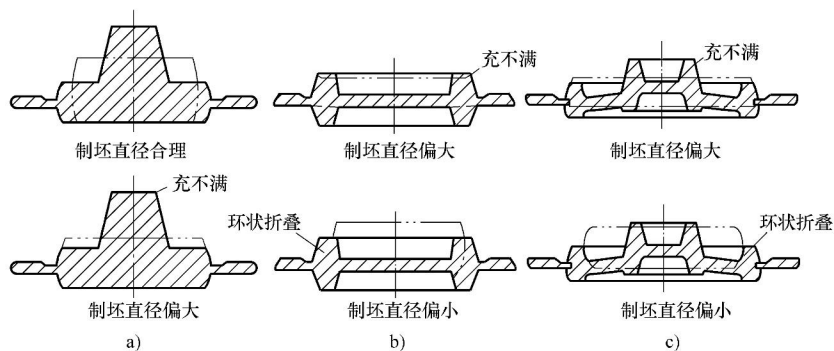


图 2-48 制坯直径与短轴线类锻件的缺陷

a) 法兰锻件 b) 套环锻件 c) 齿轮锻件

2) 尽可能保证制坯的轴对称性及便于模锻时定位。短轴线类锻件一般均需先对坯料进行镦粗或成形镦粗制坯，否则坯料端面不平，定位困难，致使锻件产生局部粗大的飞边和局部充不满。

3) 锤上模锻短轴线类锻件，由于模块尺寸的限制，一般只能采用一个制坯工步（最多两个）。但是中间坯料在终锻型槽里是多次锻击逐步成形的，每一次锻击

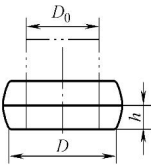
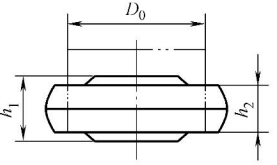
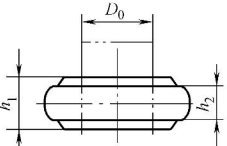
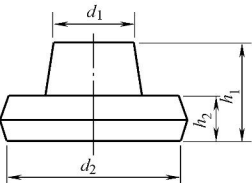
相当一次成形镦粗，这就为简化制坯工步提供了有利条件。选择镦锻类制坯工步时，一般是根据锻件纵断面形状（如轮毂、轮辐、轮缘高度等）来选择。

总之，短轴线类锻件制坯时需要合理分配金属，并保证模锻时易准确定位。

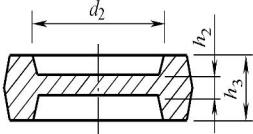
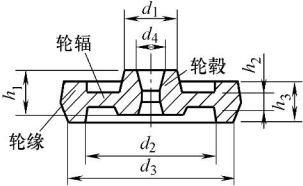
（2）镦粗工序和型槽的选择 锤上模锻时，金属充满型槽性能较好，中间坯料的形状可以简单些。

制坯工序是根据锻件尺寸和形状，以及坯料尺寸进行选择的，除了自由镦粗、成形镦粗（以上为镦锻类制坯）外，尚可采用拔长、滚挤、打扁、成形制坯工步。表 2-23 实例可供参考。

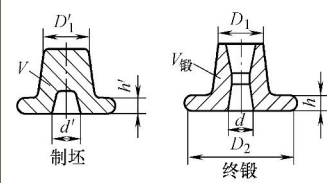
表 2-23 短轴线锻件锤上模锻制坯工步选择

锻件简图	纵断面特征	变形工步
圆盘形锻件 		坯料放入终锻槽之前,在槽外的锻模平面上轻击一次,以便除去氧化皮。 采用镦粗→终锻
法兰类锻件		中心有轮壳状凸出部分的圆盘形锻件,随着所用坯料尺寸的不同,其模锻工步有如下几种情况:当原坯料直径大于凸出部分直径,而凸出部分又借挤(压)入法来充满时,则只需终锻工步
		$\frac{h_1}{h_2} < 2$ 如果原坯料直径小于凸出部分直径,则边轮毂状凸出部分之总高 h_1 与圆盘厚 h_2 之比值的大小而采用不同的模锻工步:当 $\frac{h_1}{h_2} < 2$ 时,则只需终锻
		$\frac{h_1}{h_2} > 2$ 当 $\frac{h_1}{h_2} > 2$ 时,则用镦粗→终锻
		$\frac{h_1}{h_2} < 2$ 如原坯料直径大于轮毂直径,而且该凸出部分用压入法来充满有困难的情况下,坯料应先在下模中具有圆锥形的锻粗槽中进行镦粗,使毛坯在进入终锻槽之前就具有一凸出部分的过渡形状,以保证充满终锻槽
		$\frac{h_1}{h_2} > 2$ 如果锻件凸出部分之高度 h 比较大时,则坯料端部先进行拔长或滚挤,然后竖起来放入终锻型槽模锻

(续)

锻件简图		纵断面特征	变形工步
轮缘		$\frac{h_3}{h_2} < 1.3$	当 $\frac{h_3}{h_2} < 1.3$ 时, 只需终锻
		$\frac{h_3}{h_2} = 1.3 \sim 4$	镦粗→终锻
		$\frac{h_3}{h_2} > 4$	当 $d_3 < 350\text{mm}$ 时, 镦粗→终锻 当 $d_3 > 350\text{mm}$ 时, 预锻→终锻
轮毂锻件		$\frac{h_3}{h_2} > 2$	当锻件具有轮毂、轮辐和轮缘时, 分别按上述原则选择其中心(轮毂与轮辐), 边缘(轮缘与轮辐), 然后选择效果好的一种。在确定坯料的镦粗形状和镦粗直径时, 应根据不同情况作不同的处理 当轮毂较低并有薄轮辐或肋时, 为防止轮辐与轮缘过渡区产生折叠, 镦粗后毛坯直径 $d_{\text{镦}}$。应在 $d_3 > d_{\text{镦}} > d_2$ 范围内, 这类锻件的模锻工步一般采用镦粗—终锻或者镦粗—成形—终锻
		$\frac{h_3}{h_2} > 4$	当轮毂较高并有轮辐时, 就需考虑既要产生折叠, 又必须在高度方向上充满, 因此 $d_{\text{镦}}$ 应在 $\frac{d_3 + d_2}{2} > d_{\text{镦}} > d_2$ 范围之内 当 $d_3 < 350\text{mm}$ 时, 镦粗→终锻 当 $d_3 > 350\text{mm}$ 时, 预锻→终锻

(续)

锻件简图	纵断面特征	变形工步
复合锻件 	轮毂较高带大凸缘的锻件 (左锻件、右坯料)	当轮毂较高,又有较大的突缘,且内孔深,下模冲头凸出分型面时,为保证高度和凸缘的充满,同时考虑坯料放入终锻型槽的定位,应采用成形锻粗,成形锻粗后的坯料尺寸与锻件相应尺寸关系如下: $h_1' > h_1, D_1' \leq D_1, d' \leq d$

十字形锻件的模锻通常用圆形坯料,先在锻粗平台上进行轴向锻粗,然后径向锻方,使坯料获得接近于锻件在平面图中的形状,即近似方形的形状。最后将毛坯放入终锻型槽,并使其对角棱与锻件之中心线重合,就能保证很好地充满型槽(见图2-49a)。当十字形突出部分较长时,必须采用成形槽或毛坯预锻型槽(见图2-49b)。

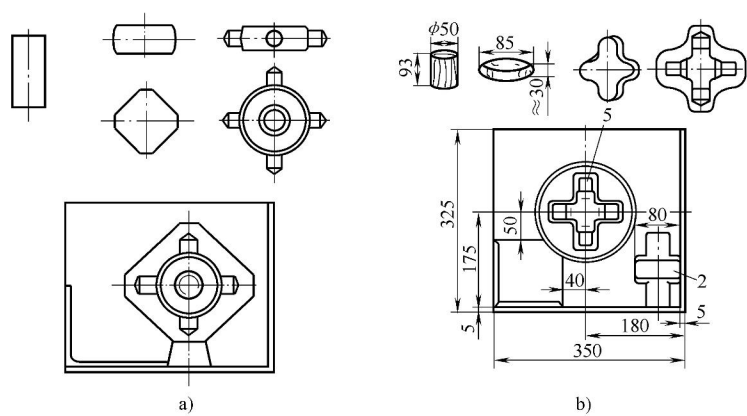


图 2-49 十字形锻件
a) 短十字 b) 长十字

(3) 锻粗台 锻粗制坯是在锻粗台上自由锻粗坯料实现制坯的。锻粗台的作用就是用来减小坯料的高度,增加其平面图中尺寸,使其坯料在终锻型槽的打击次数减少,并有利于金属充满型槽和提高锻模使用寿命,还可减少或避免终锻时产生拆叠等缺陷。

为了尽可能减小模块尺寸,锻粗台可占用部分飞边槽面积(直至桥部边缘),其操作特点和变形过程与自由锻平砧锻粗完全一样。操作时首先将毛坯垂直放在锻粗台上,轻击一锤,确认毛坯放正后再继续锤击,使其达到要求的毛坯高度,吹

去氧化皮，放入终锻型槽成形。

确定镦粗台的直径和高度时，一般是根据锻件纵断面形状（如轮毂、轮辐、轮缘高度比较）来选择镦粗直径 d 。镦粗台的宽度应较镦粗后的坯料直径大出20~40mm，即留出边缘 $c = 10 \sim 20\text{mm}$ ，如图2-50所示。

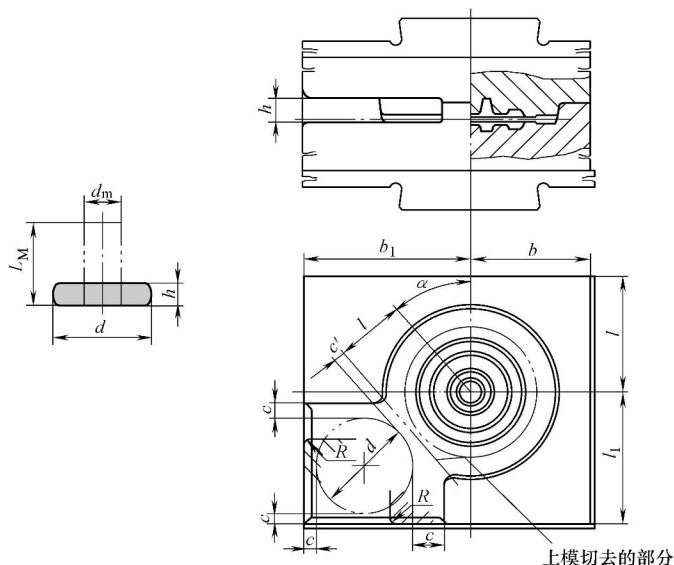


图 2-50 镦粗台

镦粗台的高度由镦粗后坯料直径决定。镦粗后的坯料直径则要考虑避免折叠，便于定位，有利于充满等因素。按锻件纵断面的形状（轮毂、轮辐、轮缘的比例），满足模锻时各部分成形的需要。

$$h = \frac{V_{\text{坯}}}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

$V_{\text{坯}}$ ——镦粗坯料体积（包括飞边）。

镦粗台一般位于模块的左前角或右前角，镦粗台过于偏离打击中心对于模具的强度来说是危险的，特别是对于镦粗直径很大的锻件。为此，镦粗台的位置还应符合： $b_1/b < 1.4$ 及 $l_1/l < 1.4$ 的规定。镦粗台的边缘应成圆角， $R = 8 \sim 10\text{mm}$ 。

(4) 压扁台（图2-51） 压扁工步类似

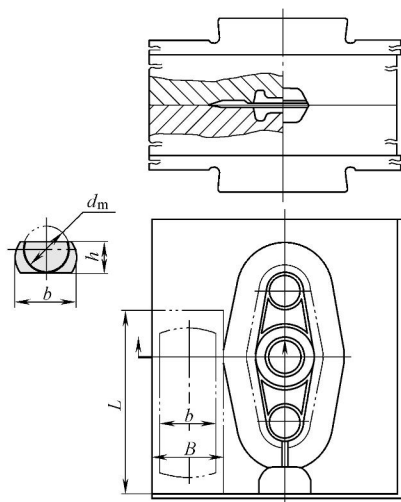


图 2-51 压扁台

锻粗工步，主要用于杆类扁宽的锻件的坯料宽度尺寸增大、厚度尺寸减少的变形过程。压扁工步在压扁台上完成。

压扁台用来将坯料的断面压扁增宽，有时用来压扁毛坯的某一部分，多用于宽而长的锻件制坯。压扁台多置于便于操作的模块边缘。通过压扁可减少坯料在终锻时的打击次数，又便于定位。操作时将毛坯放正，经多次打击，使其达到所要求的厚度。压扁台一般安排在锻模左边，为了节省锻模材料，也可占用部分飞边槽仓部。

在模块上留出的压扁平面参照图 2-51，而压扁后的高度通常由操作者在操作时自行控制。

压扁面的长度 L (mm): $L = L_0 + (20 \sim 40) \text{ mm}$, L_0 为坯料的长度 (mm)。

压扁面的宽度 B (mm): $B = (1.2 \sim 1.5) D_0$, D_0 为坯料的直径 (mm)。

2. 拔长类制坯工序和型槽的选择

对于 I ~ IV 类长轴线类锻件，按平面变形要求，中间坯料沿轴线合理分配金属，并符合锻件平面图形状。由于金属型槽内成形时，沿横断面的流动阻力要比沿轴向的阻力小很多，金属的变形基本上是沿宽度与高度方向流动，而沿轴向的流动则很小。因此对于这类锻件的中间坯料，就要求金属沿轴向的流动，以满足其各横断面面积等于锻件相应部分的横断面面积与飞边断面面积之和，其相应的锤上制坯工序有拔长、滚挤等，通常称这一类工序为拔长类制坯工序。另外，根据需要选用弯曲、成形等制坯工步。

(1) 长轴类锻件制坯工步的选择 长轴线连杆、阶梯轴类的锻件，制坯工步的作用是按照锻件图的要求分配坯料体积，以求得到形状较简单的中间坯料。最常用的制坯工步有锻粗、拔长、滚压、弯曲等。

此类锻件制坯工步的选择，取决于下列四个参数：

$$1) \text{ 金属流入头部的系数: } \alpha = \frac{d_{\max}}{d_{\text{平}}} = \frac{A_{\max}}{A_{\text{平}}}$$

即头部相对尺寸。比值越大，挤到头部去的金属就越多，要求采用变形效率高的制坯工步。

$$2) \text{ 金属轴向流动系数: } \beta = \frac{L_{\text{计}}}{d_{\text{计}}} = \frac{L_{\text{计}}}{1.13 A_{\text{计}}}$$

即锻件相对长度。比值越大，金属沿轴向移动的距离越大，要求采用变形效率高的制坯工步。

$$3) \text{ 杆部锥度: } K = \frac{d_{\text{K}} - d_{\min}}{L_{\text{杆}}}$$

K 值越大，金属在制坯槽中变形时，作用在金属上的水平分力亦越大。

4) 锻件重量: $G_{\text{坯}}$ 重量越大，标志着流动金属的体积越大。

上述三个参数公式中 $d_{\max}$ ——计算毛坯的最大直径；
 $d_{\min}$ ——计算毛坯的最小直径；
 $d_{\text{平}}$ ——杆部与头部过渡处的假想直径，把计算毛坯杆部的体积转换成一个截锥体，该截锥体的长度为 $L_{\text{杆}}$ ，小端直径为 $d_{\min}$ ，大端直径即为 d_K ，根据截锥体公式可求出

$$d_K = \sqrt{3.82 \frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}} - 0.75 d_{\min}^2 - 0.5 d_{\min}}$$

已知上述四个参数，查经验图 2-52，即可确定制坯初步方案。

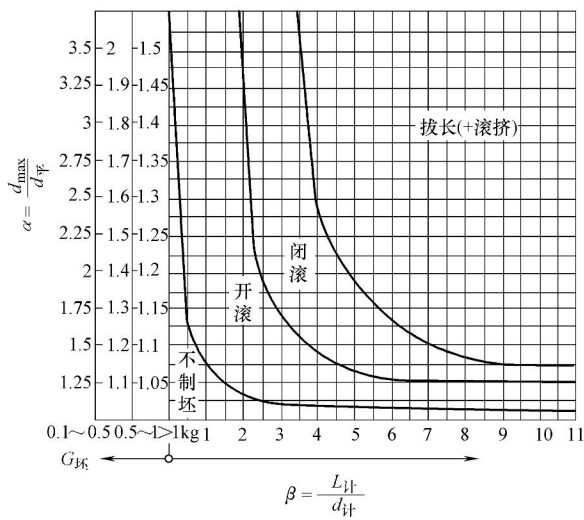


图 2-52 拔长工步选择

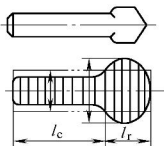
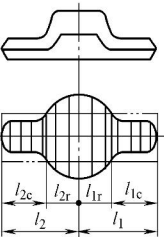
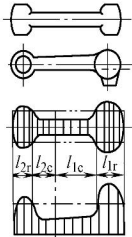
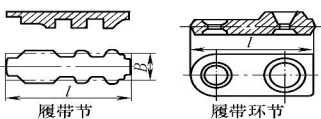
对于的双杆一头或双头一杆的复杂毛坯计算，则应按体积相等原理转换成两个简单计算毛坯，分别预选制坯工步，然后选择其中制坯效率高的工步作为锻件的制坯。

不同制坯工步转移金属的能力按下列顺序递增：开滚、闭滚、拔长、拔长 + 开滚、拔长 + 闭滚。

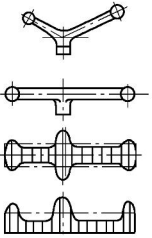
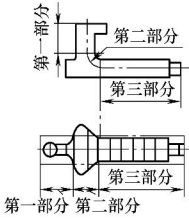
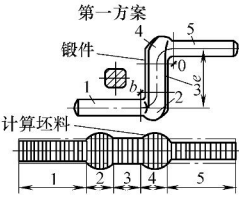
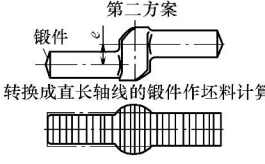
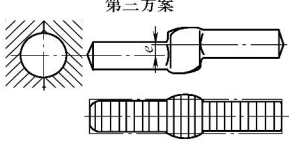
对于弯曲轴线的锻件，应将轴线展开为直线，作计算毛坯，选择制坯工步，再加一道弯曲工步。

常见长轴线锻件锤上模锻制坯工步的选择见表 2-24。

表 2-24 长轴线锻件锤上模锻制坯工步选择

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有直长轴线的锻件	分模线和主轴都是直线的锻件		工步可按坯料计算确定
	分模线稍有曲折的锻件		根据各断面的面积来作出坯料计算,确定模锻工步
	主轴线稍有曲折的锻件		根据垂直于主轴线的各断面的面积来作出坯料计算,确定模锻工步,工步按前两图例确定。锻件在平面图上的主轴线稍有局部曲折,具有相当小的不对称性时,可不用成形型槽,只需将坯料放入型槽即可解决
	平面图上接近四边形,而长度与平均宽度之比不大时		拖拉机和坦克的履带环节和履带节,平面图上接近四边形。宜于采用扁料和成形轧材,而不宜选用棒料作原料,这样可简化工艺过程 在采用棒料为坯料时,应先将其压扁或墩粗

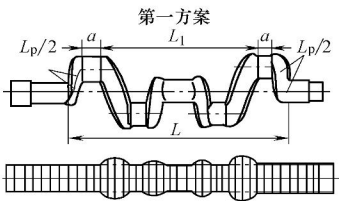
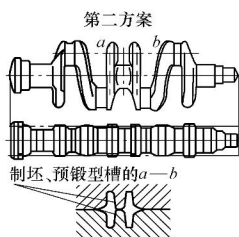
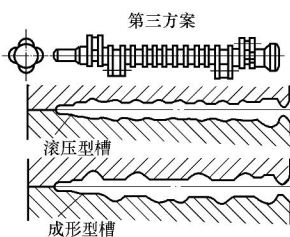
(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有弯曲轴线的锻件	需要圆浑弯曲的锻件		按直长轴线的锻件,先绘出锻件的展开图,并作出展开图的坯料计算和断面图,最好采用弯曲型槽,弯曲部位需聚料
	具有一个急突弯折的锻件		将坯料拔长滚卡压,再弯曲;将锻件划分为拔长和不拔长的各部分作出,坯料计算按弯曲轴中性线进行计算,锻造工步为拔长→滚压→弯曲→终锻
	双弯锻件	第一方案 	必须考虑其偏心度;如 e 值相当大时,且1和5部分不重叠,将锻件分为拔长和不拔长各部分,作出坯料计算图和断面图,进行拔长和滚压,并采用弯曲型槽
		第二方案 	如锻件偏心度 e 值较小时,两端头轴线方向部分重叠,将锻件当做具有直长轴线的锻件,直接按断面作出坯料计算,不必将锻件分为拔长和不拔长各部分,并采用弯曲成形型槽
		第三方案 	如锻件偏心度 e 值极小时,将锻件当做具有直长轴线的锻件,直接按断面作出坯料计算,边缘做成圆浑圆角的预锻型槽,防止金属在模锻成形时被咬住

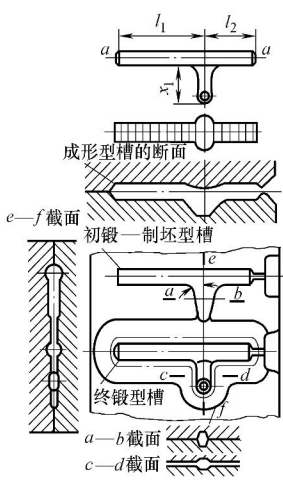
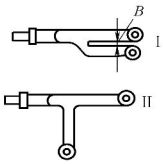
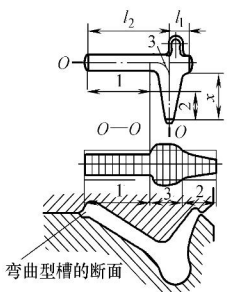
(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有弯曲轴线的锻件	单拐四弯曲轴	第一方案	根据颊板的外形、相互位置及其间距 B, 锻件在模锻时有 3 个选择方案: 1) 当锻件的外形相当浑圆, 颊板间距 B 相当大, 偏心度 e 值也相当大时, 锻件可当做具有弯曲轴线的锻件处理, 将锻件划分为拔长和不拔长的各部分进行展开和计算; 转化为圆浑中间形状, 采用弯曲、预锻或终锻
		第二方案	2) 当锻件偏心度 e 值较小且中间轴销与两端轴销相互重叠时, 锻件可当做具有直轴线的锻件进行展开和计算; 采用成形型槽, 再预锻或终锻
		第三方案	3) 当锻件的颊板间距 B 较小, 偏心度 e 值不大时, 锻件可当做具有直轴线的锻件处理, 直接按断面进行展开和计算; 采用滚压型槽, 并进行劈开台分料, 再预锻或终锻 当锻件颊板间距 B 不大, 但偏心度 e 值也相当大时, 锻件除了上述工步外, 还需采用成形型槽, 以使金属流动到中间销轴内

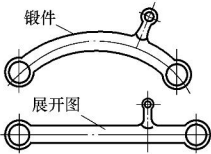
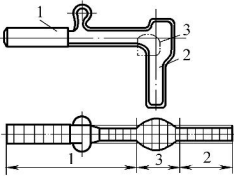
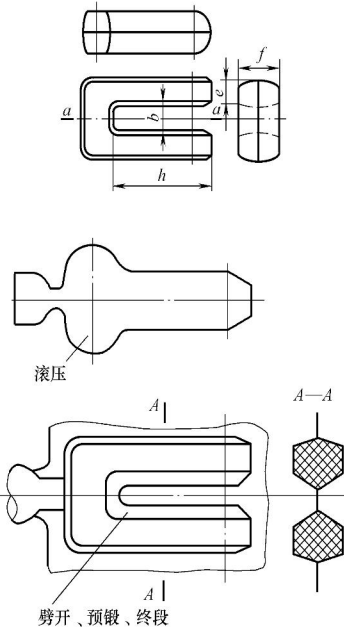
(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有弯曲轴线的锻件	多拐多弯锻件	第一方案 	在选择多拐曲轴的模锻工步时,由于弯折数较多,坯料在开始弯曲时就被加紧在弯曲型槽的凸部之间。弯曲时在不同的部分同时发生不同程度的拔长,而弯曲过程中离锻件两端越远的部分拔长得越多。在中间部分几乎只靠金属拔长来弯曲 根据坯料在各部分上拔长程度的不同,模锻有 3 种方案:
		第二方案 	1) 当曲拐外形圆浑时,在长度 L_1 按具有直长轴线的锻件直接按断面进行展开和计算;而在 L_1 以外,则按部分来做断面计算 2) 然后根据计算坯料并按图解 1 确定工步。除了第一制坯工步外,还采用弯曲。卡压和开口滚压并不采用,因为会抵消弯曲的作用。当某些颊板间距离比宽度相对不大时(颊板通常布置),特别是外形上具有平衡重时,建议可直接按断面来作出计算坯料,像直长轴类锻件一样(第二方案)。在这种情况下,除了按图解 1 定出的工步(最好滚压),还需采用具有圆浑形状和劈叉分流的制坯-初锻型槽
		第三方案 	3) 锻件的外形上介于 1 或 2 之间,建议仍然按断面来计算坯料,正像具有长直轴线的锻件一样 这时除了按图解 1 定出型槽(最好滚压),建议采用成型型槽(圆浑的弯曲型槽),预锻和终锻型槽,或用制坯型槽后只用弯曲型槽(第 3 方案)

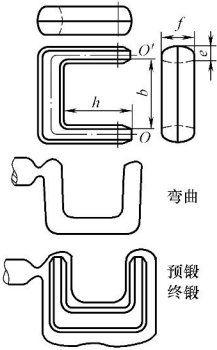
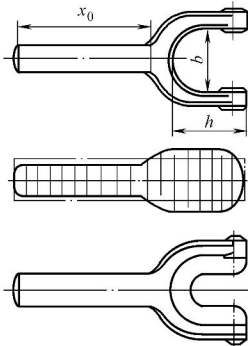
(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有枝芽的锻件	枝芽距离端头较远的锻件		不对称滚压： 当枝芽距离锻件两端较远且枝芽 X_1 不长时,这样的外形可视为具有直长轴线带枝芽的图形： 1) 可根据计算坯料按图解法算出金属的体积分配 2) 不对称滚压使金属单边移动流向枝芽 3) 枝芽空腔的形状应尽量简化并圆浑,以便在制坯时,预锻型槽内的金属能流到空腔 4) 终锻型槽飞边槽可用阻力沟,以便金属能充满空腔
			枝芽长度相当大,上述方法锻造困难,建议模锻成折拢的形状,然后用特殊辅具将它扳开
	枝芽位在离端头不远的锻件		当枝芽长度比较大,而枝芽轴线至两端之一的距离不是很大时,将锻件当成具有弯曲轴线的弯曲型槽计算坯料,滚锻制坯,弯曲预锻,终锻

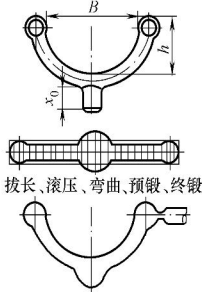
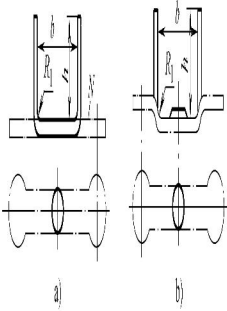
(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
具有枝芽的锻件	具有圆浑弧度枝芽的锻件		将圆浑弧度的锻件作出展开图, 进行坯料计算, 采用使枝芽锻件的成型方法不对称滚压; 使金属流向枝芽, 再弯曲、预锻、终锻
	具有急突弯折和枝芽锻件		按急突弯折锻件作出坯料计算, 尽可能简化采用圆浑锻件, 弯曲, 预锻, 终锻
叉形或具有丫叉的锻件	叉间距离较窄的叉形锻件		叉形锻件必须考虑以下因素: 1) 叉形宽与长之比 b/h 2) 叉形横断面的外形和比率 e/f 3) 是否有枝芽和杆部的长度 根据以上参数: 叉形宽与长之比 b/h 不大时, 可当做具有长直轴线的锻件 aa 制坯, 再用劈开台分开叉形, 然后终锻

(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
	叉间距离较宽的叉形锻件		叉形宽与长之比 b/h 相当大时,可当做具有弯曲轴线的锻件图形,按圆浑曲折弯曲锻件作出展开原理进行,展开锻件的坯料计算,弯曲或成型型槽
叉形或具有丫叉的锻件	长杆的叉形锻件		叉形带杆的锻件,当杆部长度 x_0 相当大时,可当做具有直长轴线的锻件外形 按圆浑曲折弯曲锻件作出展开原理进行坯料计算,将尽可能简化直长轴线的锻件,采用劈开台分开叉形、终锻 当叉间距离 b 极窄时,将叉形锻件锻成扳开的样子,然后再进行弯曲,并在另一平面上压印(在折拢状态下进行);当叉间距离 b 相当大时,将叉形锻件锻成折拢的状态,然后特殊模具中将叉形扳开

(续)

锻件类别	锻件简图和形状特点	锻件、计算坯料、断面图、模锻方案和工步	坯料计算和工步选择
叉形或具有丫叉的锻件	带叉的锻件杆部不长时	 拔长、滚压、弯曲、预锻、终锻	当锻件的杆部长度 x_0 不大时, 而 b/h 比较大时, 叉形带杆, 可当做具有弯曲的枝芽锻件处理 1) 绘出圆浑弯曲锻件展开图 2) 作出展开图的坯料计算, 将展开图当做直长轴线的锻件外形, 如果锻件既具有圆浑的部分, 又具有急突行的部分, 则采用综合方法——按展开图并按部分来作综合计算 除直长轴线的锻件工步外, 还有弯曲工步(型槽), 在枝芽部分兼有成型型槽, 然后采用模锻型槽
	尺寸较大具有特殊要求的锻件	 a) b)	当 b 和 h 的绝对尺寸较大, 型槽深与宽 e/f 不很有利时: 1) 将锻件完全展开, 放在另一平面内模锻, 然后在压机或特殊模具(或辅具)内弯曲 2) 将锻件放在另一平面内模锻, 模锻时留出弯折角度, 然后在压机上的特殊模具(或辅具)内弯曲。这种留出弯折角度的方案比前方案更能保证质量, 减少了脚上的拉缩现象

(2) 拔长型槽 拔长型槽是模锻锤上的自由锻拔长部分，即使坯料金属作轴向流动，某些部分断面积减小而长度增加。拔长型槽分开式和闭式两种（见图 2-53）。开口拔长型槽的横断面呈矩形，位于锻模边缘，一边是敞开的。闭式拔长横断面呈椭圆形，其优点是：拔长效率高，拔长后的坯料表面较光滑。但是这种型槽在第一次打击后形成的是椭圆形断面，当坯料翻转 90° 进行第二次打击时容易弯曲，所以这种型槽的压下量应避免过大，同时操作时坯料也应准确置于型槽的中心线上。另外，这种型槽制造复杂，故应用较少。

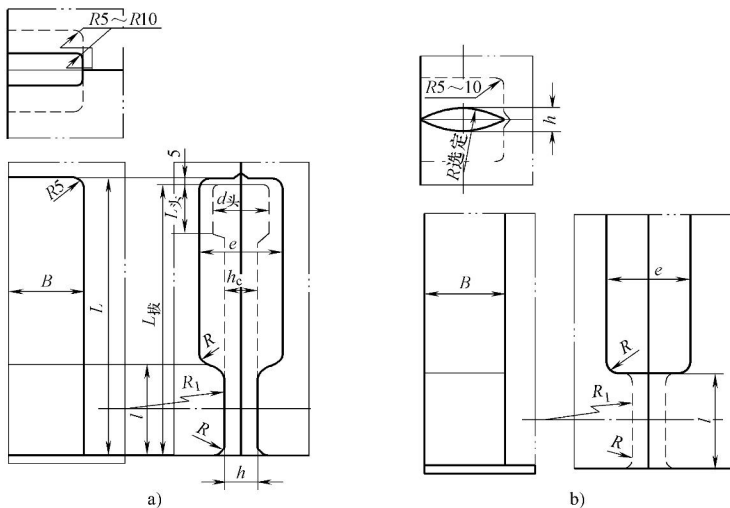


图 2-53 拔长型槽结构

a) 开式 b) 闭式

拔长型槽由坎部和仓部组成。坎部是使金属变形用的工作部分，仓部容纳拔长后的坯料，不再受力变形，它是拔长型槽的辅助部分。操作时同自由锻中的拔长一样，坯料需放在拔长型槽内，操作时在对毛坯进行连续锤击的同时，坯料沿轴向送进并翻转 90° ，直至达到要求的形状和尺寸为止。杆部的高度和拔长后坯料的长度完全由操作者控制的。其操作特点和变形过程与自由锻平砧拔长完全一样，要掌握好锤击力量，不能将毛坯打得过扁，否则翻转再锤击时易产生折叠。

拔长坎部是型槽的主要部分，包括：开口量（坎部高度） h 、圆弧 R 及 R_1 、坎部长度 l 以及型槽宽度 B 等，见表 2-25。

表 2-25 拔长型槽尺寸 (单位: mm)

项 目	计 算 公 式				符号说明
拔长坎高度 h	拔长后不滚压 $h = k_1 d_{\min}$				$d_{\min}$ —计算毛坯的最小直径 $V_{\text{杆}}$ —计算毛坯杆部体积 $L_{\text{杆}}$ —计算毛坯杆部长度
	拔长后滚压 $h = k_2 \sqrt{\frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}}}$				
	$L_{\text{杆}}/\text{mm}$	< 200	200 ~ 500	> 500	
	k_1	0.85	0.8 ~ 0.75	0.7	
	k_2	0.9	0.85	0.8	
拔长坎长度 l	$l = k_3 d_{\text{坯}}$				$d_{\text{坯}}$ —坯料直径 $L_{\text{坯}}$ —坯料长度
	$L_{\text{坯}}$	< $1.5 d_{\text{坯}}$	$(1.5 \sim 3) d_{\text{坯}}$	$(3 \sim 4) d_{\text{坯}}$	
	k_3	1.1	1.3	1.5	
型槽宽度 B	$B = k_4 d_{\text{坯}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$				
	$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	< 40	40 ~ 80	> 80	
	k_4	1.5	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	
型槽深度 e	拔长后为一光杆 $e = 2k$ 拔长后端头有一小头部 $e = 1.2 d_{\text{头}}, e \geq 2k$				
圆角圆弧半径	$R = 0.25l \quad R_1 = 10R$				
拔长型槽总长度	$L = L_{\text{拔}} + (5 \sim 10) \text{ mm}$				

拔长型槽位于锻模的边缘, 按其在模面上的布置可分为直排和斜排两种。斜排用于型槽较多, 布排有困难时, 倾斜角 $\alpha \leq 20^\circ$, 以坯料不碰锤柱为限。

(3) 滚压(挤)型槽 滚挤型槽的主要作用是使金属坯料沿轴线作更准确的分配, 获得近似于计算毛坯的形状, 还可去除氧化皮并将拔长时的凸凹表面压平, 使坯料外形圆浑、光整, 避免在随后的模锻时产生折叠。因此, 滚压型槽是对坯料进行精确整体制坯的基本型槽, 如连杆等锻件靠滚挤工步来实现材料由杆部向两头转移, 完成重量分布的需要。滚挤型槽可以通过减小部分横断面积的办法, 滚挤时坯料无轴向送进, 只是反复翻转 90° 进行锻造。这样可以增大另一部分的断面积, 并可以增加一点长度。由于 10t 以上的模锻锤锻件较重, 劳动强度大, 手工操作比较困难, 因此滚挤型槽多限于 5t 以下的模锻锤。

按型槽的横断面形状, 滚挤型槽可分为开式滚挤型槽、闭式滚挤型槽和混合式

滚挤型槽三种。开式滚压型槽的横断面呈矩形，一边是敞开的，位于锻模边缘。开式滚挤时，金属横向展宽较大，轴向流动较小，但操作方便，制模简单，经滚挤制坯后的坯料横断面近似于矩形（见图 2-54a）。闭式滚压型槽横断面呈椭圆形，位于锻模内部，闭式滚挤时，金属的横向展宽小，轴向流动大，聚料作用较为强烈，经滚挤后的坯料横断面为椭圆形（见图 2-54b）。混合式滚挤型槽则用于要求制坯后杆部为圆断面、两端为矩形断面的情况。

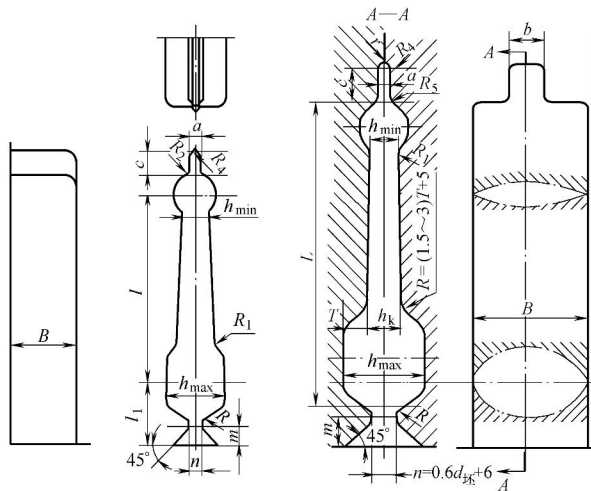


图 2-54 滚挤型槽

a) 开式滚挤型槽 b) 闭式滚挤型槽

按型槽的纵断面形状，又可分为对称式和不对称式两种。不对称滚挤型槽（见图 2-55）用于滚挤兼成形的场合，因为它不仅可以节约一个成形型槽，且成形效果较一般的成形型槽要好一些，但操作不太方便。不对称滚挤型槽一般都为开式，根据经验，当 $h_1/h_2 < 1.8$ 时效果较好。

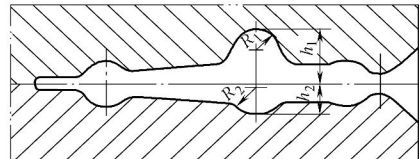


图 2-55 不对称滚挤

滚挤型槽钳口的作用是通过滚挤将棒料分成料头和锻坯两部分。滚挤型槽的尾部需开出毛刺槽，以容纳滚压时从坯料上挤出的毛刺。

滚挤型槽的高度和宽度、滚挤型槽长度、尾部小槽的计算可按表 2-26 选取。

表 2-26 滚挤型槽尺寸

(单位: mm)

项目	计算公式或数据						符 号 说 明
型槽高度 h	$h = kd_{\text{计}}$ k 系数按下表选取						$d_{\text{计}}$ —计算毛坯相应处的直径 $d_{\text{坯}}$ —坯料直径
	$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	杆部		头部	拐点		
		闭式	开式				
	< 30	0.8	0.75	1.15	1.00		
	30 ~ 60	0.75	0.70	1.10	0.95		
> 60	0.70	0.65	1.05	0.90			
型槽宽度 B	坯料形式	闭式		开式			$A_{\text{坯}}$ —坯料断面积 h_{min} —型槽最小深度 d_{max} —计算毛坯最大直径 $a_{\text{坯}}$ —方坯边长 $A_{\text{杆均}}$ —计算毛坯杆部平均断面积
	原坯料	$1.7d_{\text{坯}}(\text{或 } 1.9a_{\text{坯}}) > B$ $> 1.15 \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}}, B > 1.1d_{\text{max}}$		$1.7a_{\text{坯}}(\text{或 } 1.5d_{\text{坯}}) + 10 \geq B$ $\geq \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + 10, \text{但 } B > d_{\text{max}} + 10$			
	经过拔长的毛坯	$(1.4 \sim 1.6)d_{\text{坯}} > B >$ $1.25 \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}}$ 但 $B > 1.1d_{\text{max}}$		$(1.4 \sim 1.6)d_{\text{坯}} + 10 > B >$ $\frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}} + 10, \text{但 } B > d_{\text{max}} + 10$			
	不同宽度的滚压模膛	杆部 $B_{\text{杆}} = 1.25 \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}}$ 头部 $B_{\text{头}} = 1.1d_{\text{max}}$					
型槽长度 L	$L = L_{\text{计}}(1 + \delta)$						δ —收缩率
型槽钳口尺寸	$n = 0.2d_{\text{坯}} + 6\text{mm}$ $m = (1 \sim 2)n$ $R = 0.1d_{\text{坯}} + 6\text{mm}$						
毛刺槽尺寸		$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	a	c	R_3	R_4	b
	无切刀	< 30	4	20	5	4	20
		30 ~ 60	6	25	5	6	30
		60 ~ 100	8	30	10	8	40
		> 100	10	35	10	10	50
	有切刀	< 30	6	25	5	6	25
> 30		8	30	5	8	30	

注: 表中毛刺槽尺寸 b 的尺寸仅适用于闭式滚压型槽。

滚压型槽的绘制方法 (见图 2-56) 如下:

1) 按计算毛坯的典型断面, 计算出各断面上的 h 和 B 值, 将 h 从分型面对称

标出。

2) 以大圆弧或直线将各点 h 连接, 画出滚压型槽的纵剖面, 应尽可能做到圆滑过渡。

3) 如果计算毛坯的杆部为水平线, 为了杆部金属易于流向头部, 滚压型槽可带斜度, 倾斜角取 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

(4) 压肩 (卡压、卡锻) 型槽 压肩型槽与滚压型槽的形状相似, 设计方法也基本相同。由于压肩型槽在操作时不像滚压那样作 90° 的多次翻转, 而是只作一次打击后就直接移入预锻或终锻型槽。因此, 压肩型槽的聚料作用较滚压小, 而压下量大的部分则有使坯料明显增宽的效果。

压肩型槽也有开式与闭式两种形式。开式的应用较广, 压肩后坯料平移置入模锻型槽进行锻造, 见图 2-57。闭式压肩型槽多用于圆轴类锻件, 压肩后坯料转 90° 后置入模锻型槽。压肩型槽在我们国家应用不是很普遍, 很多时候都用压扁、成形和开式滚压型槽来代替。压肩型槽尺寸计算见表 2-27。

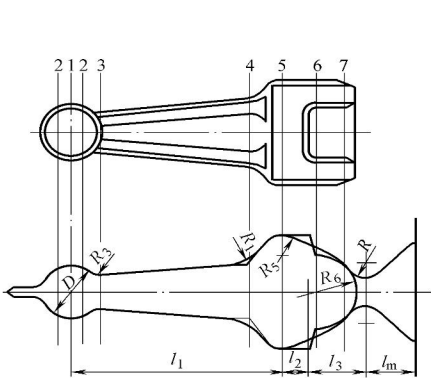


图 2-56 滚压型槽的绘制方法

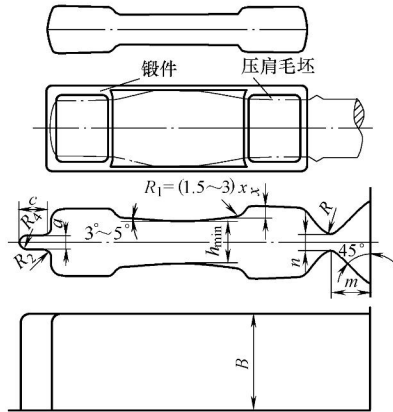


图 2-57 压肩型槽

表 2-27 压肩型槽尺寸计算

项 目	应用公式				符号说明
模膛深度 h/mm	$h = kd_{\text{计}}$ 系数 k 按下表选择				$d_{\text{计}}$ —计算毛坯直径 $d_{\text{坯}}$ —坯料直径
	$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	< 30	30 ~ 60	> 60	
	杆部	0.75	0.65	0.60	
	头部	1.00	1.05	1.1	
模膛宽度 B/mm	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + (5 \sim 10) \text{mm}$				$A_{\text{坯}}$ —坯料断面积 h_{min} —压肩模膛的最小深度

(续)

项 目	应用公式	符号说明
其他尺寸/mm	$R = 0.2d_{\text{坯}} + 5\text{mm}$ $n = (0.2 \sim 0.3)d_{\text{坯}}$ $m = (1 \sim 2)n$ $a = 0.1d_{\text{坯}} + 3\text{mm}$ $c = 0.3d_{\text{坯}} + 15\text{mm}$ $R_3、R_4$ 同滚压型槽(见表 5-28)	

(5) 弯曲型槽的设计 模锻弯曲轴线锻件时, 为使其中间坯料能顺利放进(或基本放进)模锻型槽里成形, 要求中间坯料具有与锻件的平面图相适应的外形, 一般是弯曲轴线锻件采用弯曲工步来实现的。将坯料放入弯曲型槽内, 其翻转 90°后的形状符合终锻型槽在模面上的平面投影形状。

弯曲所用的坯料可以是等断面的原始坯料, 也可以是经过拔长、滚挤后的坯料。

根据弯曲时毛坯拉长的情况, 弯曲模槽可分为两种形式: ①自由弯曲式。坯料在模槽内拉伸现象不大, 适用于具有圆浑形弯曲的锻件, 一般只有一个弯角, 见图 2-58a。②夹紧弯曲式。坯料在模槽内除了弯曲成形外, 还要有拉伸。这种弯曲成形适用于具有多个急突弯曲形状的锻件, 如多拐曲轴等, 如图 2-58b 所示就是其中的一例。

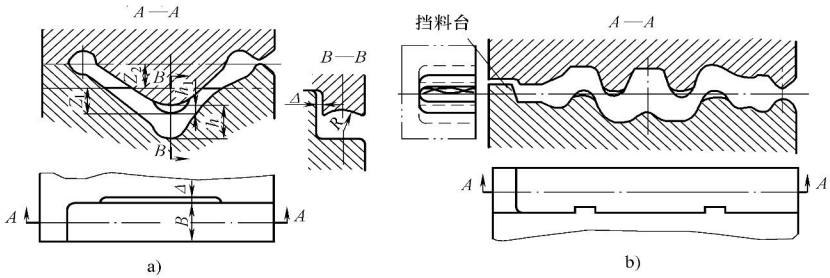


图 2-58 弯曲型槽
a) 自由弯曲式 b) 夹紧弯曲式

弯曲型槽是根据终锻模槽在分模面上的外形尺寸进行设计制造的。在设计弯曲型槽时应注意以下几点: ①弯曲型槽在急弯处应作成较大的圆角, 以免在终锻时锻件在该处形成折叠。②弯曲型槽在下模上应有两个支承点, 以支持压弯前的坯料, 此两支点的高度应使坯料呈水平位置, 见图 2-59。③当用原坯料在弯曲型槽内压弯

时，在弯曲型槽末端应作出挡料台控制位置，而如果坯料已经过滚挤时，可利用钳口颈部定位。④弯曲型槽中的凸出部分应制出横向弧形凹坑，如图 2-58 中的 $B-B$ 断面，以便使坯料定位，防止在操作时坯料偏移或掉下。其凹坑深度 $h_1 = (0.1 \sim 0.2)h$ ， h 为型槽相应部分深度。⑤设计弯曲型槽的突出部分时，应使上下模大致相等，即图 2-58 中的 $Z_1 = Z_2$ 。这样上下模的加工量基本相等。

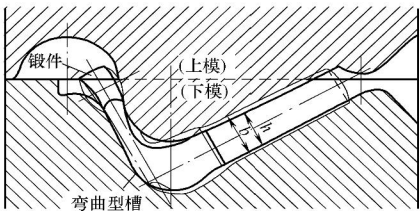


图 2-59 弯曲型槽水平支承

另外，为了便于压弯后的坯料容易取出，弯曲型槽要有适当的斜度。弯曲型槽尺寸有关尺寸的计算见表 2-28。

表 2-28 弯曲型槽主要尺寸

项 目	计 算 公 式						符 号 说 明
型槽高度 h	$h = b_{\text{锻}} - (2 \sim 10) \text{ mm}$ 大锻件取大值,小锻件最小值						$b_{\text{锻}}$ —锻件平面图上相应处尺寸
型槽宽度 B	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$						$A_{\text{坯}}$ —坯料断面积 h_{min} —型槽的最小高度
上下模间隙 Δ	锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
	Δ/mm	4	6	6	7	9	9
凹面深度 h_f	$h_f = (0.1 \sim 0.2)h$						h —型槽高度

对于弯轴类，除应满足上述要求外，弯轴线类锻件应展开计算。

若锻件的曲率半径不大，外形圆浑，作计算坯料是按离锻件宽度内侧 1/3 处展开的，则滚挤型槽应设计成如图 2-60 的形式，其长度比心轴线短。

对于多拐曲轴这类在夹紧弯曲过程中几乎全靠拉伸成形的锻件，在计算坯料时，把锻件当成直轴类（即计算坯料的长度等于锻件水平投影的长度），则滚挤型槽的长度应设计成如图 2-61 所示的形式。



图 2-60 曲率半径不大的圆浑锻件

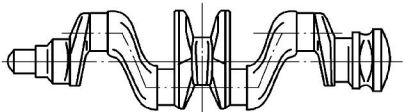


图 2-61 夹紧弯曲的拉伸成形锻件

计算坯料为直轴中间坯料，因此对于弯轴线锻件，在绘制计算坯料前应将锻件沿轴线展开拉成直轴。由于中间坯料在弯曲时会伸长，所以锻件展开时的长度应较锻件弯曲轴线的长度小些，缩短数值可以根据具体情况确定。

如图 2-62 所示的急突弯曲锻件，在展开时直线部分 L_1 、 L_3 的长度均不改变，而弯曲部分 L_2 的展开可用下列三种方法处理：

1) $L_2 = \overline{A12345B}$ 折线长度，1、2、3、4、5 分别为各断面重心。

2) $L_2 = \widehat{AB}$ 弧线长度，用于弯曲时拉伸较大的情况。

3) $L_2 = \overline{AB}$ 直线长度，用于 $x=0$ 弯曲拉伸较大的情况。

对于弯曲度较小的锻件和绝大多数带枝芽的、带叉的锻件，一般不需要将锻件展开，直接沿轴线取断面绘制直轴计算坯料图。

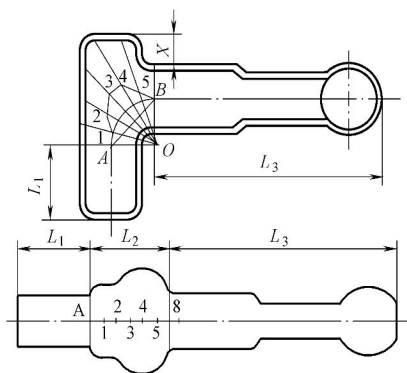


图 2-62 急突弯曲锻件

(6) 成型型槽 与弯曲型槽相似，成型型槽也用来使坯料变形以接近锻件在水平面上的投影形状，它是通过局部金属转移来获得所需形状，因此金属流动量大。成型型槽可以减轻终锻型槽磨损，提高终锻型槽寿命。操作时一般只打击一次，然后将坯料翻转 90° 移入预锻或终锻型槽。成型型槽是枝芽的锻件主要采用的成形工步。

成型型槽按纵断面的形状可分为不对称式及对称式两种，常用的为不对称型槽。型槽设计原则与方法同弯曲型槽相似，主要是为了使成形后的坯料顺利放进模锻型槽，并以镦粗的方式充填型槽。其设计依据是锻件在平面图上的轮廓线形状和尺寸。在锻件头部，每边小 1~8mm，杆部每边小 3~5mm，并以镦粗的方式充填型槽。杆部向头部过渡区应有 2°~5° 的斜度，以利于金属流动。

对称性的成型型槽见图 2-63。

非对称性成型型槽（见图 2-64）设计方法与弯曲型槽相似，基本原则依然是型槽轮廓要比锻件轮廓小些，通常每边小 2~5mm。型槽宽度、钳口尺寸等与弯曲型槽的设计方法相同，尾部毛刺槽可参照滚压型槽设计。

对于带枝芽类锻件（用不对称成型型槽），为使枝芽部分在模锻时能较好的充满型槽，设计成型型槽时应迫使金属更多的流到枝芽部分。为了控制金属的宽展，成型型槽可采用闭式。成型型槽尺寸参数见表 2-29。

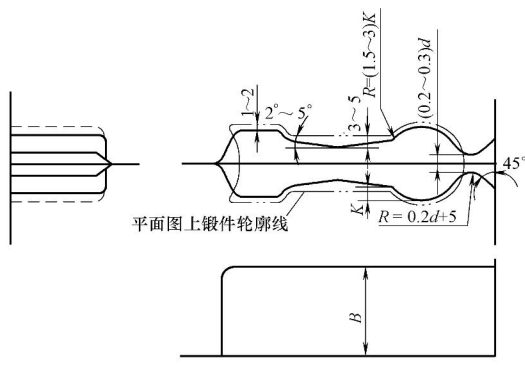


图 2-63 对称性的成型型槽

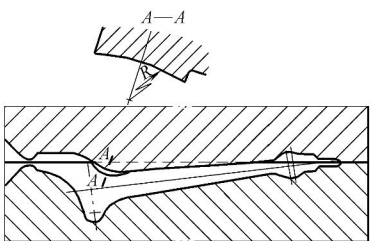


图 2-64 非对称性的成型型槽

表 2-29 成型型槽主要尺寸

项 目	计 算 公 式	符 号 说 明
型槽高度 h	头部: $h = b_{\text{锻}} - (1 \sim 2) \text{ mm}$ 杆部: $h = b_{\text{锻}} - (3 \sim 5) \text{ mm}$	$b_{\text{锻}}$ —锻件平面图相应处的尺寸
型槽宽度 B	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$	$A_{\text{坯}}$ —坯料断面积 h_{min} —型槽最小高度

在蒸汽—空气模锻锤上进行制坯时，通常的锻件出坯时间是模锻时间的 1 ~ 3 倍，导致其设备利用率不高。如果我们在毛坯工序上能够采用更先进的工艺，例如用滚轧工艺、周期性的毛坯等方法，来代替模锻锤上的出坯工作，可以大大提高模锻锤上生产率。

2.3.4 切断型槽

切断型槽不是为了使金属成形，而是将已锻好的锻件从棒料上剁下来。切断型槽适用一料多件的小型锻件，每模锻成一件后，应在切断型槽上将其切下，再将剩余的坯料放入型槽继续锻出锻件。

切断型槽按其位置和排列可分为三种形式，最常用的多位于模具的右前角和左后角上。为了操作方便和合理布排，切断型槽一般与燕尾中心线交叉成一个角度 α ， α 一般采用 15°、20°、25°等为宜。

1. 前切刀

其结构如图 2-65a 所示，其尺寸是根据带有飞边的锻件来设计的。在型槽的水平方向上，锻件的最大凸出部分不应碰到型槽的侧壁；在型槽的垂直方向上，应使型槽的底部在剁断时碰不到飞边。如果飞边被压而变形，就会给切边定位造成很大的困难。总之，在设计切断型槽时，必须保证在切断过程中，锻件飞边不受打击或碰坏。

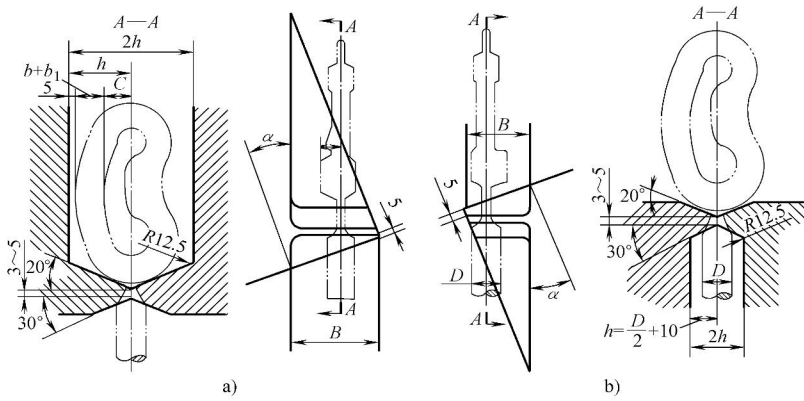


图 2-65 切断型槽结构及尺寸

a) 前切刀 b) 后切刀

α —切刀斜度 h —切刀高度 b —飞边宽度 b_1 —锻件外形距切刀中心的最大距离
(高度方向) D —坯料直径

2. 后切刀

后切刀结构形式如图 2-65b 所示，其尺寸是根据坯料直径 D 来设计的。型槽的宽度和深度应能使坯料自由地放入。因此后切刀较浅较窄，所以后切刀型槽比较坚固。

前切刀和后切刀尺寸按图 2-65 给定外，其宽度 B 和深度 h 可按表 2-30 查得。但后切刀则以 $D/2$ 代替 c ，按表 2-30 选取。

前切刀位于锻模的右前角或左前角。采用前切刀操作较方便，但切下的锻件易堆积在锤的立柱旁。

为了便于操作，后切刀一般放在锻模的左后角，被切下的锻件可以直接落到锻锤后边的传送带上，送到下一工位。

表 2-30 切 刀 尺 寸

锻件尺寸/mm (c 或 f)	切刀尺寸/mm	
	h	B
10	50	50
10 ~ 20	60	50
20 ~ 30	70	60
30 ~ 40	80	70
40 ~ 50	90	80

2.4 锻模结构与型模布置

当各模槽设计完毕之后,就可进行锻模的结构设计,即模槽的布排,确定各型槽在锻模上的相对位置和距离,进行锁扣设计,选择钳口,确定模块尺寸等。

锻模的结构合理正确与否,不仅直接影响锻件的质量和锻模的寿命,而且影响到工人的劳动强度和生产率,同时还影响到锻模的制造成本以及锻压设备零部件的寿命。

2.4.1 锤上锻模安模空间和紧固方式

锤锻模分别安装在模座和锤头上,既要保证牢固可靠,又应保证锻模更换和调整方便。锻模的燕尾及键槽通过装模零件定位键、紧固楔、垫片等与锤头及砧座相连接,如图 2-66 所示。长期生产实践经验证明,锤锻模所采用的这种楔和键紧固的方式,可以有效地将模块紧固在模座或锤头上,防止锻模脱出、左右移动和前后移动。

1. 安模空间

锻锤的安模空间见图 2-66,安模空间规格见表 2-31 (JB/T 1843—1999)。

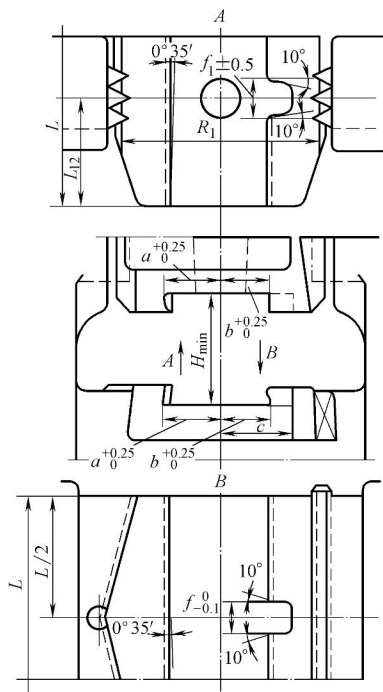


图 2-66 模锻锤的安模空间

表 2-31 模锻锤的安模空间规格 (单位: mm)

锻锤吨位 /t	$m_{\max}$ /kg	$H_{\min}$	$H_{\max}$	B_1	l	L	$b^{+0.25}_0$	$a^{+0.25}_0$	$h^{-0.5}_0$	$f_1 \pm 0.5$	$f^{-0}_{-0.1}$	c
0.5	175	270	1000	400	350	600	80	115	45	76	72	121
1	350	320	1200	500	450	700	100	140	50	84	80	143
1.5	525	360	1200	550	600	800	100	140	50	74	80	143
2	700	400	1250	600	700	900	100	140	50	84	80	143
3	1050	480	1250	700	800	1000	150	200	65	116	110	204
5	1750	580	1250	750	1000	1200	150	200	65	116	110	204
10	3500	610	1300	1000	1200	1400	200	260	80	140	132	264
16	5250	660	1400	1200	1500	1600	200	260	80	140	132	264

注: 1. $m_{\max}$ ——上模最大重量, 超过表列重量不推荐。
2. $H_{\max}$ ——在上下模总高度为 $H_{\min}$ 时的最大锤头行程。

表 2-32 锻模的燕尾规格 (单位: mm)

锻锤吨位/t	燕尾级别 代号	燕尾			键槽		起重孔
		<i>B</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>D</i> × <i>l</i>
1	No. 1	200	50.5	75	60	50	26 × 60
2	No. 2	260					
3	No. 3	300	65.5	85	75	75	
5							
10	No. 5	400	80.5	120	90	100	40 × 100
16							

(3) 定位键 装模时下模定位键卡放在锻模燕尾的键槽和下砧座燕尾槽的键槽、上模定位键卡放在燕尾的键槽和上锤头燕尾槽的键槽中, 确定锻模在锻锤上的前后位置, 防止锻模在锻击过程中前后滑移, 起定位止键作用, 其形状尺寸参照图 2-69 及表 2-33 所示。定位键的材质为 45 钢, 调质硬度为 255 ~ 285HBS。

(4) 紧固楔 紧固楔因为带一定的斜度, 因而又称为斜楔或楔铁, 装模时用行车悬吊的重锤将其撞入锻模燕尾和下砧座燕尾槽, 以及燕尾键槽和上锤头燕尾槽之间, 利用斜度胀紧方式将锻模燕尾紧固在锤头和砧座上, 其形状尺寸如图 2-70 及表 2-34 所示。紧固楔的材质为 45 钢, 调质硬度为 255 ~ 285HBS。

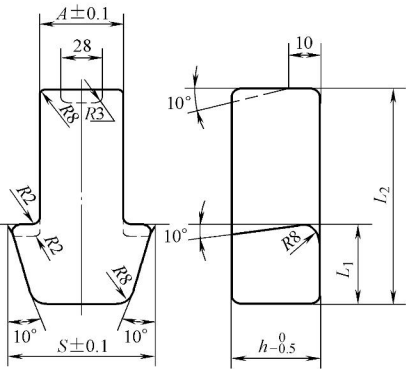


图 2-69 定位键

其形状尺寸如图 2-70 及表 2-34 所示。紧固楔的材质为 45 钢, 调质硬度为 255 ~ 285HBS。

表 2-33 定位键的规格 (单位: mm)

锻锤吨位/t	键代号	<i>h</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂
1、2	No. 1	50	80	49.9	48	97
3、5	No. 3	65	110	74.9	62.5	123
10、16	No. 5	80	132	99.9	75	148

(5) 垫片 垫片在安装锻模时, 根据实际情况与键或紧固楔配合作用。垫片的材质为 45、50 或 65Mn 用冷轧钢板切成, 其厚度为 0.5mm、0.75mm、1mm、2mm、3mm、5mm。

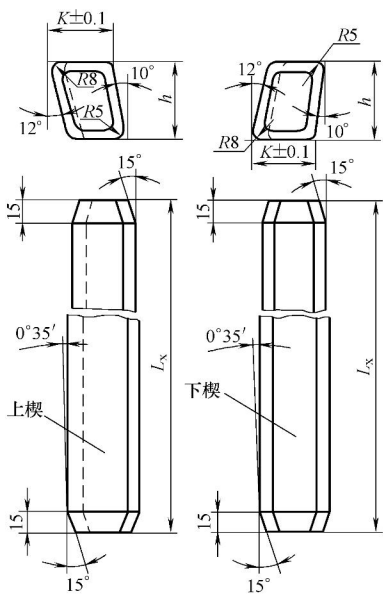


图 2-70 紧固楔

表 2-34 紧固楔的长度

(单位: mm)

锻锤吨位/t	上楔 L_s	下楔 L_x
1	580	800
2	830	1050
3	930	1100
5	1150	1300
10	1350	1500
16	2150	2200

2.4.2 型模布置

1. 锻模中心与型槽中心

锻模中心是锻模的燕尾中心线与键槽中心线的交点，应与锤杆中心线重合 (见图 2-67)。

型槽中心是打击时作用于上模的反作用合力作用点，即在终锻 (或预锻) 时，金属变形抗力的作用点。当变形抗力分布均匀时，型槽中心即为型槽 (包括飞边桥) 在分型面上水平投影面积的重心。当变形抗力分布不均匀时，型槽中心则向变形抗力较大的一边偏移一距离，偏移距离的大小应根据生产实际情况确定。型槽中心可以通过找 (包括飞边桥) 水平投影面积重心的确定方法，可以采用理论计算，也可采用样板实测法，一般采用后一种方法。在实测时，将一均质厚纸板剪成型槽 (包括飞边桥) 水平投影形状，先在两侧面吊起两次，找出两线交点，然后通过此点将样板水平吊起，进行校核，直到纸板呈水平状态为止，此点位置即为所求面积之重心。

确定型槽中心的目的在于避免和减少偏心打击，所以模锻型槽的布置应根据锻模中心与型槽中心的相互位置来确定。

当没有预锻型槽时，如图 2-71a 所示的齿轮锻模，其终锻型槽中心可以与锻模中心重合，避免偏心打击。

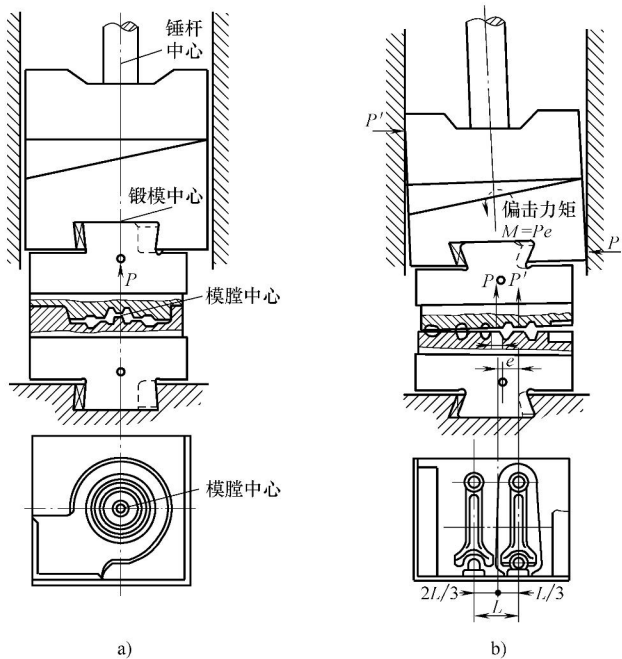


图 2-71 正中心打击与偏心打击

a) 正中心打击 b) 偏心打击

当同时有预锻和终锻型槽时，如图 2-71b 所示的连杆锻模，锻模中心与型槽中心不在同一垂直线上，此时产生很大的偏击力矩，使锤头和上模在直立面内转动，不但引起锻件沿分模而错移，而且还必然引起锻件高度方向尺寸的偏差（对小锻件偏差不大，对大锻件有时甚至超过 5mm），这些都影响了锻件质量。此外，偏击力矩还降低锤杆和锻模的寿命，加速导轨磨损等。因此，模锻型槽布置的基本原则就是要尽量避免或减小偏心打击。

2. 型槽的排列原则

模锻型槽布置既要尽量减小或避免偏心打击，同时也要考虑锻造操作应方便，排列时应两者兼顾。

(1) 锻模上有预锻和终锻槽的排列 这两个型槽的中心均不与锻模中心重合，为了使在预锻时与在终锻时的偏击力矩相等，预锻型槽和终锻型槽应放在锻模中心的两侧，两型槽中心应尽可能靠近键槽中心线，同时预锻型槽中心必须在燕尾宽度内。

终锻型槽锻模燕尾中心线的偏移量 $e \leq L/3$ （见图 2-71），应尽量不超过表 2-35 的数值。

表 2-35 e 值

锻锤吨位/t	1	1.5	2	3	5	10
e/mm	25	30	40	50	60	70

对于不同的锻件可采取不同的方法布置：如图 2-72 的排列方法，两型槽中心都位于键槽中心线上，模锻时上下模前后方向的错差小，使用效果较好；如图 2-73 的排列方法，预锻和终锻型槽的中心在前后方向上错开，缩短了两种型槽中心的距离，但模锻时模具容易在前后方向上发生错移，因而应用不十分广泛；如图 2-74 的排列方法，把预锻和终锻型槽背向排列，也减小了两型槽的中心距离，虽然在操作上多了一次翻转，但对于上下均具有难充满部分的锻件，采用这种方法是有利的。

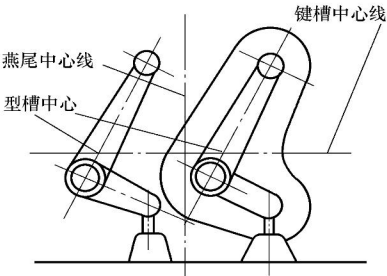


图 2-72 终锻型槽与预锻型槽正常排列

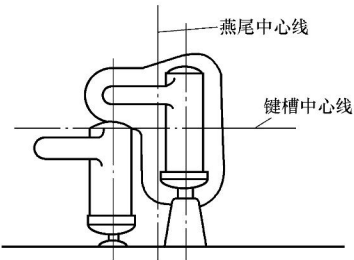


图 2-73 终锻型槽与预锻型槽错开排列

当 $L/5 < e < L/3$ 时，预锻型槽可采用反向预错方式（即预先考虑上下模槽的错移量），以抵消预锻时的偏心错移量 Δ 。 Δ 值由经验确定，一般在 1 ~ 4mm 范围内，如图 2-75A—A 剖面所示。

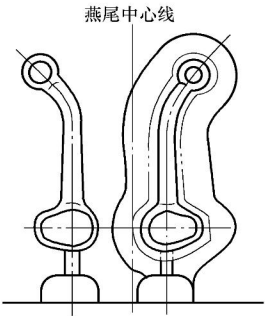


图 2-74 终锻型槽与预锻型槽背向排列

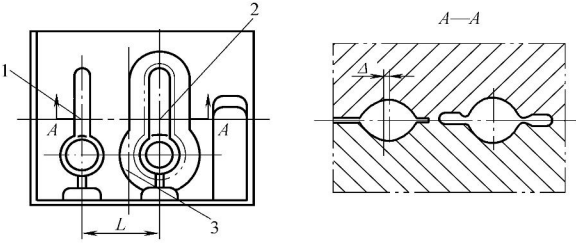


图 2-75 预锻偏心错移量

1—终锻型槽中心线 2—预锻型槽中心线
3—燕尾中心线

具有落差的锻件采用平衡块式锁扣时,为了减少错移与平衡块的磨损,可采用:

平衡块凸出部分在上模时,如图 2-76a 所示,型槽中心应向平衡块相反的方向离开键槽中心移动距离 $S_1 = (0.2 \sim 0.4)h$;平衡块凸出部分在下模时,见图 2-76b,型槽中心应向平衡块方向离开键槽中心移动距离 $S_2 = (0.2 \sim 0.4)h$ 。

其他,模锻型槽中较难充满的部分应尽量接近锻模中心,这样有利于金属充满型槽。另外,为了有利于锻件自型槽中取出和工人操作方便,型槽应靠近钳口。

(2) 型槽按操作顺序排列的原则

1) 在终锻或预锻时变形力较制坯时大得多,为了减小偏心力矩,改善锻锤及模具的工作条件,获得良好的锻件质量,应尽可能使终锻型槽及预锻型槽中心线靠近锻模的中心,其他型槽尽可能按工艺顺序排列,与加热炉、切边压力机位置相适应。操作时最多允许改变一次方向。

2) 第一道制坯型槽应靠近加热炉,缩短送料距离。制坯型槽较多时,排列最好与工艺顺序一致。

3) 氧化皮最多的型槽应位于吹风方向的下方。

4) 弯曲型槽位置应使锻件移动或翻转后能直接放入终锻或预锻型槽。

5) 拔长型槽如在右边,应取直式为宜;如在左边,应取斜式为宜。

6) 前切刀一般位于锻模的右前角,后切刀一般位于锻模的左后角。

型槽布置方案可参考图 2-77。

3. 锁扣(导锁)

当模锻某些锻件时,为了减少锻件的错移量,避免偏击力矩给锻模和设备带来的不良的后果,需要在模面上设置锁扣。

(1) 错移力平衡 对于落差锻件,由于分型面不在一个平面上,上、下锻模斜面相互作用将产生一个水平分力,这个分力会使上下模相互之间发生错移,需要设置平衡锁扣,以平衡这个水平错移力,保证锻件尺寸精度,提高锻模和设备寿

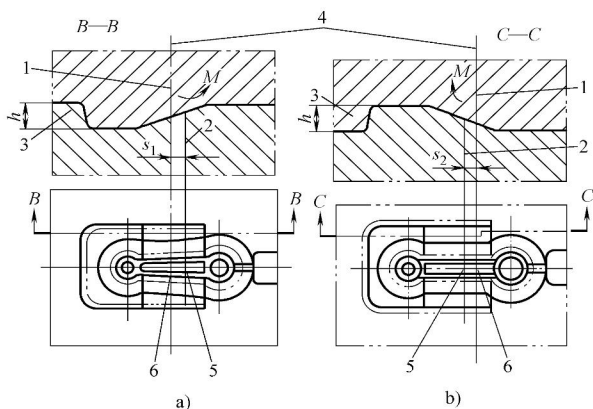


图 2-76 落差平衡块型槽的排列

a) 平衡块凸出部分在上模 b) 平衡块凸出部分在下模
1—锤击力 2—金属变形 3—平衡块 4—键槽中心
5—型槽中心 6—锻模中心

命。落差锻件的错移力平衡锁扣设置方式见表 2-36，尺寸见表 2-37。

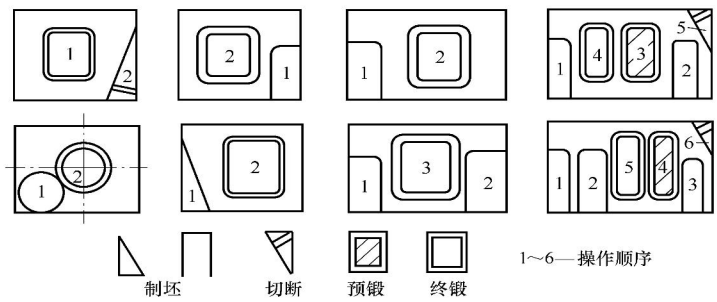


图 2-77 型槽安排

表 2-36 平衡锁扣

形式	特点与图例	
对称式	有落差的小型锻件,可将两个型槽相对布排,以抵消错移力相互平衡。不需要另设锁扣	
倾斜式	将锻件倾斜一各角度,使锻件两端点位于同一平面上,模锻斜度一部分增大,另一部分减小,产生的错移力相互平衡。但由于倾斜了一个角度,而影响锻件出模,需在局部地方增大模锻斜度。为防止锻件重量增加和形状走样太厉害,此法用于 $\gamma \leq 7^\circ$, 锻件落差 H 小于 15mm 时	
平衡块式	当锻件落差高度 $H = 15 \sim 60\text{mm}$ 时,可采用平衡块方式抵消错移力	
混合式	倾斜式和平衡块式的综合。锻件落差高度 H 大于 50mm 时,将锻件倾斜,以减小锁扣平衡块高度 h ,倾斜角 γ 应小于 7°	

表 2-37 平衡块式锁扣设计尺寸 (单位: mm)

项 目	公式与数据
锁扣高度 h	$h = \text{锻件分模面落差高度}$
锁扣壁厚 b	$b \geq 1.5h$
锁扣斜度 α	当 $h = 15 \sim 30\text{mm}$ 时, $\alpha = 5^\circ$; 当 $h = 30 \sim 60\text{mm}$ 时, $\alpha = 3^\circ$
锁扣间隙 δ	$\delta = 0.2 \sim 0.4\text{mm}$, 但应小于锻件允许的错移量
锁扣非导向侧面间隙 δ_1	$\delta_1 = 3 \sim 5\text{mm}$
锁扣沿分模面非打击面上间隙 Δ	$\Delta = 1 \sim 2\text{mm}$, 但应小于飞边桥部高度
锁扣内圆角 R_1	$R_1 = 0.15h$
锁扣外圆角 R_2	$R_2 = R_1 + 2\text{mm}$

(2) 圆形、纵向、侧和角锁扣 即便对于形状对称、很容易准确定出其终锻型槽中心的锻件, 在实际生产中也会由于坯料加热温度不均匀, 坯料在终锻型槽里放偏等操作上的原因, 使得实际的型槽中心与锻模中心不一致, 产生偏击力矩, 导致锻模错模, 而且这样的错模是不定向的。为了平衡这些原因产生的错移力, 减少锻件的错模和便于锻模的安装和调整, 通常在锻模上设置导向锁扣, 起到在防止锻模错模和锻模导向的作用。

锁扣常用于下列情况:

- 1) 要求锻件错模小于 0.5mm。
- 2) 细长的轴类锻件。
- 3) 一模多件的小锻件模锻。
- 4) 形状复杂和在模锻时不容易检查和调整错模量的锻件, 如叉形、工字形和齿轮类锻件。
- 5) 冷切边的锻件。
- 6) 锤头导轨间隙过大时。

常用锁扣有圆形锁扣、纵向锁扣, 侧面锁扣和角锁扣等几种形式, 应根据锻件特点和模块大小等因素确定。

锁扣的采用也带来以下不利情况:

- 1) 增大了模块高度和面积。
- 2) 减少了模具的承击面。
- 3) 增加了模具的制造工时。
- 4) 由于导向导锁的角度 α 小, 又是容易磨损的地方, 所以锻模翻新时的下落量增大。

因此, 对于分型面在同一平面上的锻模件, 是否设置锁扣要从利弊两方面来权衡。

1) 圆形锁扣和纵向锁扣。短轴类的圆形锻件多采用圆形锁扣, 以控制圆形锻件上下模的相对错移 (见图 2-78)。为了避免模锻时上下模的受热程度不同 (上模的加热经常小于下模) 而产生的塞住现象, 则应把圆形锁扣的凸出部分设计在上模内, 而把圆形锁扣的凹进部分设计在下模。同时为便于清除氧化皮, 应在圆形锁扣的后壁上做一宽度为 50 ~ 80mm 的通槽。在特定情况下, 为了便于将锻件自下模取出方便, 将圆形锁扣中间的凸出部分设计在下模, 这时导锁的间隙须取较大值。

为了避免飞边流入导锁间隙, 飞边仓部宽度 b_1 应比普通的仓部宽度大 5 ~ 10mm。圆形锁扣尺寸见表 2-38。

长轴类锻件普遍采用纵向锁扣, 以保证锻件在宽度方向有较小的错模, 在一模多件的模锻中也常采用。纵向锁扣尺寸见图 2-79 和表 2-38。

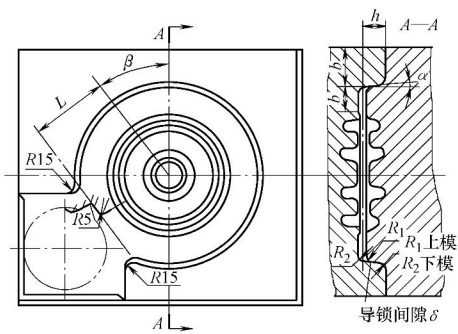


图 2-78 圆形锁扣

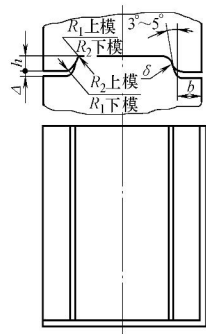


图 2-79 纵向锁扣

表 2-38 圆形锁扣和纵向锁扣尺寸 (单位: mm)

锻模吨位/t	h	b	δ	Δ	α	R_1	R_2
1	25	35	0.2 ~ 0.4	1 ~ 2	5°	3	5
2	30	40			5°	3	5
3	35	45			3°	3	5
5	40	50			3°	5	8
10	50	60			3°	5	8
16	60	75			3°	5	8

2) 侧面锁扣和角锁扣。侧面导锁可以防止上模与下模相对转动或向纵横任一方错模。但因其制造困难, 所以采用较少。导锁尺寸参考图 2-80 和表 2-39。

角锁扣的作用和侧面导锁相似, 可在模块四角空余的地方设置两个或四个角锁

扣，锁扣的强度较弱，多用于小型锻件和没有制坯型槽的锻件。锁扣的尺寸可参考图 2-81 和表 2-39。

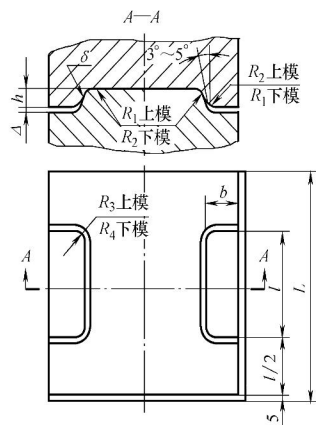


图 2-80 侧面锁扣

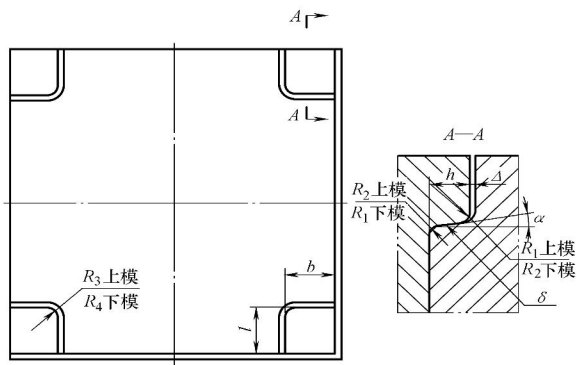


图 2-81 角锁扣

表 2-39 侧面锁扣和角锁扣尺寸 (单位: mm)

锻锤吨位/t	h	b	l	δ	Δ	α	R_1	R_2	R_3	R_4
1 ~ 1.5	30	50	75	0.2	1	5°	3	5	8	10
2	35	60	90	0.2	1	3°	3	5	9	12
3	40	70	100	0.3	1	3°	3	5	10	15
5	45	75	110	0.4	1	3°	5	8	12	15
10	55	90	150	0.5	1.5	3°	5	8	15	20
16	70	120	180	0.6	1.5	3°	6	10	20	25

(3) 模壁厚度 锻模型槽应有足够的侧壁厚度，以保证锻模在工作中不致损坏，同时又要避免模块过大。型槽深度越大，侧壁斜度越小，壁与底的圆角半径越小，壁厚越大，一般根据型槽的深度来确定最小壁厚。与型槽相邻的壁面斜度越小，壁厚越大，如相邻的是锻模外壁（斜度为零），则壁厚应最大。侧壁厚度和型槽间距一般根据经验公式确定，见表 2-40。

(4) 钳口 参看 2.3.1 终锻型槽部分。

表 2-40 模 壁 厚 度

项 目	公 式	图 例
终(预)锻型槽最小壁厚 S_0	$S_0 = (1 \sim 2)h$ 式中 h —型槽深度, h 较小时系数 取大值	
滚压型槽最小壁厚 S_1 , S_2	$S_1 = 5 \sim 10\text{mm}$ $S_2 = 10 \sim 15\text{mm}$	
一模型多件相邻两终(预) 锻型槽间最小壁厚 S_3	$S_3 = (0.5 \sim 1)h$ 式中 h —型槽深度, h 较小时系数 取大值	

2.4.3 模块尺寸

模块尺寸是根据锻模中型槽的数量、尺寸、安排方法及型槽间的距离等因素来确定其模块的最小轮廓尺寸, 模块尺寸应符合锤锻模的装模空间尺寸, 具体参数见表 2-31, 并根据工厂标准模块中相近的较大值来选定。

1. 锻模承击面

模锻时, 锻模应有足够的接触面积来阻止模面的下沉, 上下模的接触表面即称为承击面, 它是分型面减去型槽、飞边槽、钳口、锁扣(平面上有间隙时)等处后的面积(见图 2-82 中的 S 阴影部分面积)。锻模设计时必须要有足够的承压面积, 才能保证模具有足够的强度, 不致于在锤击过程中造成型槽坍塌和破坏。最小承击面的允许值与锻锤吨位有关, 取值可参看表 2-41。如果采用的是闭式锻模, 锻件在平面图上的面积应计入承击面。

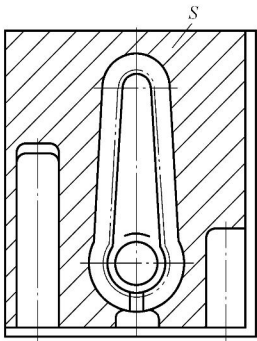


图 2-82 锻模承击面

表 2-41 锻模的承击面数值

模锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
允许最小承击面积/cm ³	300	500	700	900	1600	2500

2. 锻模中心与模块中心的偏移量

在型槽布排后，要校验一下模块中心（即分型面上对角线的交点）与锻模中心是否重合，如不重合，则两者之间的偏移量不允许大于偏移方向模块轮廓尺寸的10%，即 $a \leq 0.1A$ ， $b \leq B$ ，见图 2-83。

3. 模块允许的最大宽度和最小宽度

锻模的最大宽度 $B_{\max}$ ，一般应保证边缘至锻锤导轨的间隙不小于 20mm，若模块面积较大而不能满足要求时，则模块侧面应加工刨平，并保证间隙不小于 10mm。

锻模最小宽度 $B_{\min}$ ，必须大于燕尾宽度 $B_0 = b_3 + b_4$ （见图 2-84）， $b_3 = B_0/2 + b$ + 20mm， $b_4 = B_0/2 + 20\text{mm}$ 。

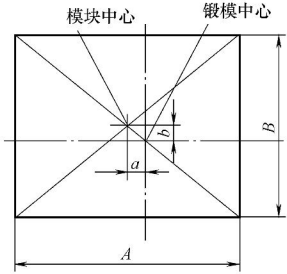


图 2-83 锻模中心偏移范围

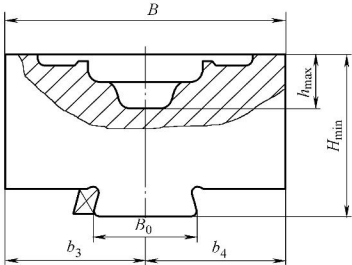


图 2-84 模块尺寸示意图

4. 模块允许的最大长度

当锻件较长，必须使锻模伸出模座和锤头外时，则所伸出的悬空部分长度 f 应限制在（见图 2-85）：

$$f < \frac{H}{3}$$

式中 H ——上模或下模块的高度。

5. 模块的高度

锻模高度按型槽最大深度确定（见图 2-86 和表 2-42），且要保证上下模块的最小闭合高度大于锻锤允许的最小闭合高度 $H_{\min}$ （即保证上下模块的能够闭合打靠）。模块高度过大，会使锻锤打击能量不足，故模块最大高度需要限制。按锻锤吨位，由表 2-43 可确定模块最小和最大高度。考虑锻模翻新和修理次数，锻模的

闭合高度应按锻锤允许最小闭合高度 $H_{\min}$ 再增加 35% ~ 45%。

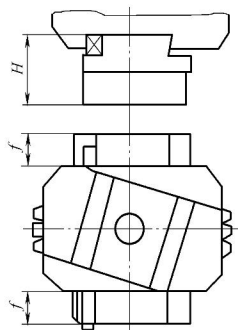


图 2-85 模块允许的最大长度

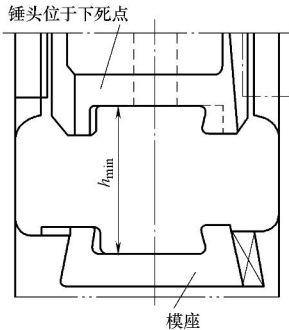


图 2-86 锤头位于下死点时的锻锤最小闭合高度

表 2-42 型槽最大深度与模块最小闭合高度 (单位: mm)

终锻型槽最大深度 $h_{\max}$	< 32	32 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 160	160 ~ 200
模块最小高度 $H_{\min}$	170	190	210	230	260	290	320	390	450

6. 模块允许的最大重量

上模块的最大重量 G 不得超过锻锤吨位的 35%，具体数值可查表 2-43。下模重量不限。

表 2-43 模块高度重量

锻锤吨位/t	1	2	3	5	10
最小高度 $H_{\min}$ /mm	170	220	260	290	330
最大高度 $H_{\max}$ /mm	240	300	330	370	420
上模最大重量 $m_{\max}$ /kg	350	700	1050	1750	3500

注：数据可参见安模空间标准尺寸， $H_{\max}$ 可根据具体情况适当增大。

7. 检验角和检验面

为了使制造锻模时的划线作基准并作为上下模对齐的基准，锻模上设置检验角。校验角是锻模侧面上由两个加工表面构成的 90° 角。构成检验角的表面即为检验面，见图 2-87 所示。

检验角一般设在模块前面左侧或右侧（根据型槽排列情况，置于型槽敞开部分较少的一边）。检验面要求刨平，刨进深度为 5mm。

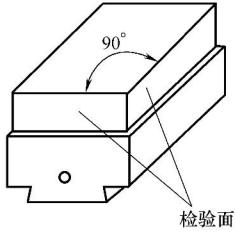


图 2-87 检验角和检验面

8. 模块的流线方向

锻模寿命与模块的流线方向有极大的关系。无论

如何都不应使流线方向与锻锤打击方向相同，型槽与流线垂直的面积应尽可能地减少。应遵循以下原则：

1) 对于长轴类锻件，当锻模损坏的方式主要是磨损时，流线应与锻件轴线方向一致，见图 2-88a。当锻模损坏的方式主要是破裂时，流线应与锻件轴线方向垂直。

2) 对于短轴类锻件，流线应与键槽中心线方向一致（即与燕尾方向垂直），见图 2-88b。因为这样能使燕尾肩部转角处有较大的强度。

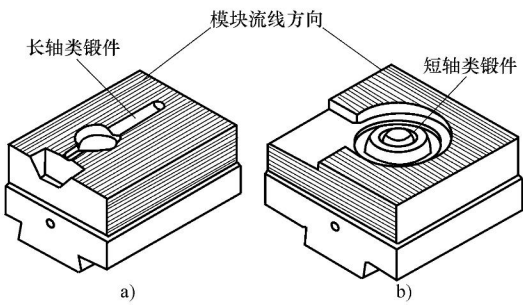


图 2-88 模块流线方向

模块上应有模块生产厂家印上的指明模块流线方向的印记。

9. 模块规格

设计时可参考原机械工业部提出的模块断面规格试行标准（见图 2-89，表 2-44）。

表 2-44 模块断面规格试行标准

高度 <i>H</i> /mm	宽度 <i>B</i> /mm															
	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
250																
275																
300																
325																
350																
375																
400																
425																
475																

- 注：1. 粗框线内为钢厂可供应的规格，故应优先选用。
2. 上表所列尺寸为模块的高度与宽度尺寸，模块长度尺寸由各用户向钢厂订货时提出要求。
3. 模块高度与宽度尺寸的公差规定如下：小于 60mm 的为 $\begin{smallmatrix} +4\% \\ -1\% \end{smallmatrix}$ ，大于 60mm 的为 $\begin{smallmatrix} +3\% \\ -1\% \end{smallmatrix}$ 。
4. 模块高度方向的加工余量为 20mm（即 $H + 20\text{mm}$ 作为钢厂供应的模块高度尺寸）。

考虑镶块的强度，镶块尺寸应按每组锻件的最大尺寸考虑，由表 2-45 确定，尽量标准化。

矩形镶块模座紧固镶块是在左右方向靠楔铁打紧，其前后方向的定位有三种：

1) 模座封闭式定位（见图 2-90b），其模座前后不通，能限制镶块前后移动，起定位作用。此种结构因模座前后未开通，故能提高模座强度，从而避免模座在紧固位置裂开损坏。

2) 键块定位（见图 2-92a），在镶块和模座上都设有键槽，以便放入键块定位。此种模座便于制造和使用，镶块长度 l 可随锻件长短而略有变动。

3) 角度定位（见图 2-93）。

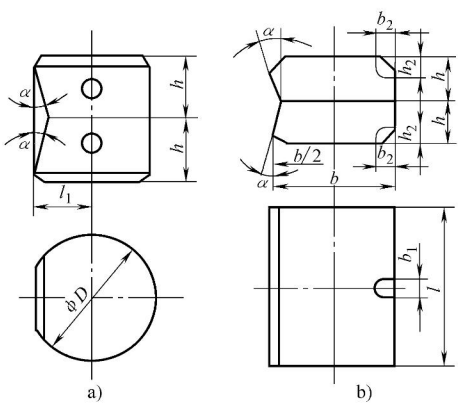


图 2-91 圆形镶块和矩形镶块
a) 圆形镶块 b) 矩形镶块

表 2-45 镶块尺寸

锻锤吨位 /t	矩形镶块			圆形镶块		$\alpha/^{\circ}$
	l/mm	b/mm	h/mm	D/mm	h/mm	
1 ~ 2	200 ~ 240	160 ~ 200	85 ~ 110	215	100	5
3 ~ 5	300 ~ 400	220 ~ 320	120 ~ 150	325	150	5

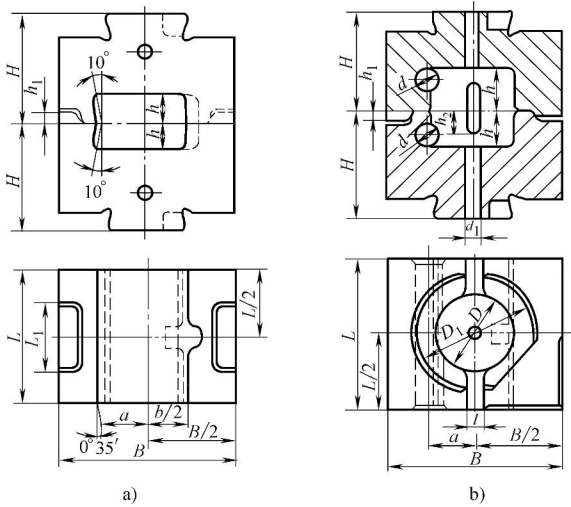


图 2-92 镶块和模座
a) 矩形镶块模座 b) 圆形镶块模座

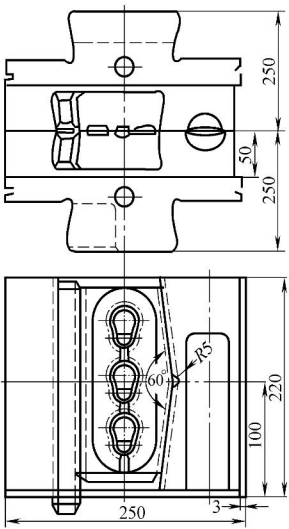


图 2-93 角度定位

模座的轮廓尺寸主要根据镶块尺寸，参考图 2-92 和表 2-46 确定，其他尺寸参考整体模设计部分确定。

为了防止锻模错模，可在模块模座上设置导锁，圆镶块锻模采用圆形导锁，矩形镶块锻模经常用侧面导锁或角导锁。

表 2-46 镶块模座尺寸

项 目		公 式	说 明
圆镶块模座	模座宽度 B	$B = (1.5 \sim 2)h + D$	D —镶块直径 h —镶块高度 b —镶块宽度 c —楔铁宽度 $l_{\max}$ —最大的镶块模块长度 l —镶块长度
	模座长度 L	$L = (1.5 \sim 2)h + D$	
	模座高度 H	$H = (2 \sim 3)h$	
开通式方镶块模座	模座宽度 B	$B = (1.5 \sim 2)h + b + c$	
	模座长度 L	$L = l_{\max}$	
	模座高度 H	$H = (2 \sim 3)h$	
不开通式方镶块模座	模座宽度 B	$B = (1.5 \sim 2)h + b + c$	
	模座长度 L	$L = (1.5 \sim 2)h + l$	
	模座高度 H	$H = (2 \sim 3)h$	

圆镶块模座上可设置镦粗台（见图 2-90a），矩形镶块模座前沿也可设置压扁台（见图 2-93）。

2.5 锻模的冷却和润滑

模锻时，高温金属不断把热量传到型槽表面，致使型槽温度很快升高，容易被打塌和磨损。为防止锻模过热产生退火而软化，锻模工作温度不允许超过 400℃，所以在模锻过程中，必须冷却锻模。

锻模冷却时，常容易引起拉应力。应当注意：冷却开始时锻模降温不能太快，可喷洒少量的冷却液或稍微提高冷却液的温度。

最常见的冷却剂有压缩空气、饱和盐水溶液或锯末中拌以少量盐水。

用盐水作冷却剂经济而简单，既能起冷却作用，又能起润滑作用。它在冷却过程中，一方面使型槽温度下降，保证型槽不坍塌，延长了模具使用寿命；另一方面，由于型槽温度很高，使盐水立即蒸发，结晶出的食盐颗粒附着在型槽表面上，形成一层薄膜，间接起到润滑作用，使锻件表面质量好，又便于脱模。

大型模锻生产中，多采用锯末中拌适量盐水的冷却方法，在锻打时由工人抛向型槽中。由于水分的急剧蒸发和锯末的急剧燃烧而产生的气体，可以崩掉锻件表面氧化铁皮，使锻件表面光滑，轮廓清晰，易于出模。

在模锻过程中，型槽的润滑非常重要。正确的润滑可以保证型槽的表面粗糙度，改善金属的流动条件，有利于金属更好地充满型槽，同时使成型后的锻件更容易出模。常用润滑剂配方见表 2-47。

在模锻塑性较差的金属时，必须将润滑剂均匀地涂在型槽内，或均匀地涂抹在坯料上，以利于金属的流动而充满型槽。

锻造用润滑剂须满足以下要求：

- 1) 对摩擦表面有较强的吸附力，并在摩擦表面形成固定的足够的润滑层，以保证润滑剂在塑性变形的高压下不被挤出。
- 2) 有较高的燃点，以免由于变形过程中的高温作用而燃烧。
- 3) 润滑剂燃烧产物应无毒、无害、化学稳定，以保证良好的工作环境。
- 4) 润滑剂要便于涂抹，加工后便于清除。
- 5) 对锻模有冷却作用，价格低廉等。

表 2-47 润滑剂、冷却剂的配方及优缺点

润滑剂	配 方	使用 范 围	优 缺 点
重油	全部用重油或加入石墨的质量分数 3%	用于形状复杂、难于起模的钢质模锻中	润滑均匀,资源丰富,但烟气大,卫生条件不好,易使分型面微裂纹扩展
锯末	以少量食盐水调配	用于难起模的大型锻件	使用方便,价廉
盐水	1. NaCl 的质量分数 15% + 水的质量分数 85% 2. NaCl 的质量分数 15% + NaOH 的质量分数 35% + 水的质量分数 80% 3. CaCl ₂ 的质量分数 70% + NaCl 的质量分数 30% (饱和水溶液) 4. CaCl ₂ 的质量分数 70% + KCl 的质量分数 25% (饱和水溶液)	广泛用于模锻件润滑,可采用机械喷雾方法	冷却模槽效果好,同时起润滑作用,使用方便,卫生条件好,但对设备腐蚀性大
胶体石墨 (油剂)	石墨 2% ~ 3% + 废机油	用于中小型锻件	润滑性能好,使用方便,但烟气大,不卫生
胶体石墨 (水剂) (MD 系列)	石墨与水之比为 1: (15 ~ 30)	轻合金模锻用得较多	较卫生。冷却、润滑性能好,使用方便,效果好,易脱模
二硫化钼混合润滑剂	二硫化钼 10% + 石墨 20% + 铝粉 15% + 其余机油	使用广泛	润滑效果好,但成本高

(续)

润滑剂	配 方	使用范围	优 缺 点
玻璃润滑剂 (FR、 FRB、 WY、BR)	硼硅酸盐 (FR-2、FR-4、WY-1、WY-2 等牌号) 高钡硅酸盐 (F1-21、FR-30), 铝硅酸盐 (FR-34、FR-35), 硼硅酸盐 (FR-5、FR-22) 高钡硅酸盐 (FR-41), 硅酸盐复合材料 (FR-42)	Ti 合金热模锻 高温合金热模锻 不锈钢热模锻	润滑效果好,有优越的绝热性能,减小锻件温降,且具有一定防氧化脱碳功效,使用温度范围广 缺点是制造麻烦,成本高

提高模具寿命可采取以下措施:

- 1) 选用耐磨、抗氧化、热硬性高、疲劳性好的模具材料。对磨损严重的部位,可用热硬性高的模具钢作镶块,以提高模具寿命。
- 2) 选用合理的热处理规范,保证模具具有适当的硬度。
- 3) 模具设计时应选择好分型面,起模斜度合理,尖角部位尽量采用圆滑过渡,选用合理的镶块结构,并保证锻模有足够的承压面积。
- 4) 合理的选用制坯工步,使制坯形状好,以减小锻模磨损。
- 5) 模具制造时型槽表面应抛光,应达到所要求的表面粗糙度,避免磨削软化。
- 6) 模具使用时必须预热到 150 ~ 250℃,始锻温度要选择合理,并应防止低温锻造。锻打要及时清除氧化皮,并注意模具的冷却和润滑。

第3章 热模锻压力机上模锻

热模锻压力机（简称锻压机）上模锻是一种相对先进的模锻工艺方法，常用于大批量的流水线生产中。

3.1 热模锻压力机及其锻造工艺特点

热模锻压力机在生产中的使用已有七十余年历史，现在国内外都有完全使用锻压机的模锻车间。热模锻压力机的工作原理同通用压力机一样，都采用带、齿多级传动方式，以曲柄滑块机构为工作机构，传动机构设有飞轮离合器和制动离合器。热模锻压力机与普通曲轴压力机相比，区别在于有刚性更大的整体式铸钢机架，带有象鼻形状（以象鼻式滑块连杆式热模锻压力机为例）和附加导轨的滑块，并有上、下顶料杆装置，及高度可调节的工作台（见图3-1）。

热模锻压力机结构特点：

- 1) 整体刚度高。热模锻压力机采用加粗曲轴直径、缩短曲轴支撑间距，降低机身高度，加大机身断面，以及采用短粗整体连杆，高刚度装模高度调整机构。
- 2) 滑块抗偏载能力强。采用“象鼻形”的滑块，提高滑块抗倾斜能力，增加了滑块导向长度及连杆与滑块的支承宽度。
- 3) 滑块行程次数高，35~110次/min。
- 4) 装有力量较强的上下顶料装置。
- 5) 离合器与制动器设于低速轴上。
- 6) 具有脱出“闷车”装置。

由于热模锻压力机是刚性传动，滑块具有固定的下死点，当毛坯尺寸偏大，锻件温度偏低或调节失误时，滑块不能越过下死点而被卡在下死点前某一位置，这种现象就是“闷车”。

热模锻压力机的规格以公称压力表示。国产锻压机系列规格的主要技术规格和性能参数列于表3-1。

热模锻压力机的工艺优点：

- 1) 热模锻压力机（简称锻压机）具有快速定行程、低工作速度、限能量和限力的工作特性，有利于提高模锻件的尺寸精度和锻模寿命，宜于实现模锻工序的机械化和自动化，较好地满足现代工业提出的高质量、高精度、大批量供应和高生产率的要求。

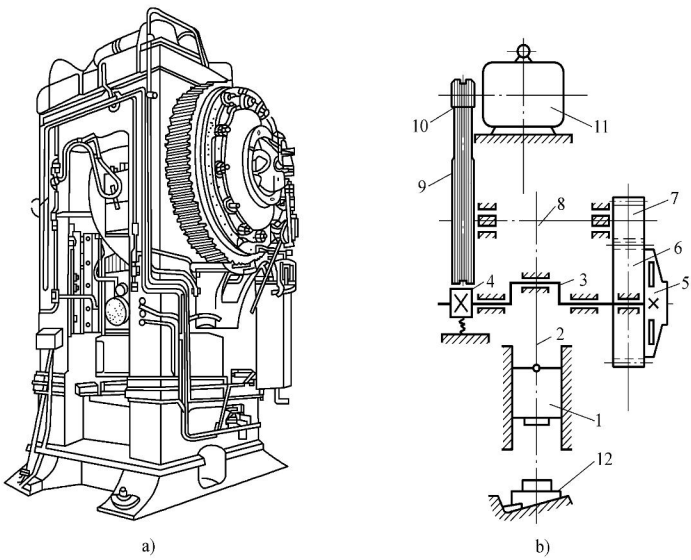


图 3-1 热模锻压力机外形及工作原理

a) 热模锻压力机外形 b) 工作原理

- 1—滑块 2—连杆 3—曲轴 4—制动器 5—离合器 6—大齿轮 7—小齿轮
8—传动轴 9—飞轮 10—皮带轮 11—电动机 12—楔形工作台

表 3-1 热模锻压力机的主要技术规格和性能参数

公称压力/kN		10000	16000	20000	31500	40000	80000
滑块行程/mm		250	280	300	350	400	460
行程次数/(次/min)		80	85	82	55	50	39
滑块下平面尺寸 (前后×左右)/mm		630×950	900×1170	960×910	1200×1180	1300×1250	1700×1640
工作台平面尺寸 (前后×左右)/mm		1150×1000	1120×1150	1100×1035	1300×1240	1450×1400	1850×1700
闭合高度/mm		560	720	765	950	1025	1200
工作台调整量/mm		10	10	21.5	23	25	25
顶杆行程/mm	上	50	50	45	50	65	30
	下	50	65	70	80	90	100

(续)

公称压力/kN	10000	16000	20000	31500	40000	80000
侧窗口尺寸(宽×高) /mm	350×400	320×450	700×680	800×900	900×950	1200×1000
主电动机功率/kW	55	75	115	180	210	2×245
外形尺寸 (长×宽×高)/mm	2400×2865 ×5500	3190×2678 ×6425	3793×4010 ×7760	4878×4232 ×8708	4790×4495 ×9294	5200×6700 ×11350
地面以上高度/mm	4908	5735	5520	5919	6630	7900
设备总重量/t	50	69	118	195	300	860
锻件重量/kg	1~2.5	2.5~4	4~7	12~18	18~22	50~80
锻件生产率/(kg/h)	400~600	600~800	800~900	1100~1500	1500~1800	2800~3500

2) 热模锻压力机刚性较好，锻件精度高，可调节封闭高度，能较好控制锻件尺寸公差，并使偏差分布稳定。顶料机构可以减少模锻斜度和余块。热模锻压力机可进行开式模锻，也可以进行挤压、立式锻和多向模锻等。

3) 可以安排一模多件和多型槽模锻。大平面尺寸工作台可安排2~5个工步，如制坯、预锻、终锻、切边和冲孔等。由于有顶料机构，一般不设夹钳料头。对小锻件可安排一模2~6件，生产率可大大提高。

4) 滑块行程一定，速度低，操作简单。锻件成形受操作者人为因素影响小。

5) 热模锻压力机上模锻每个工步是在滑块一次行程中完成，变形量大，需要有良好的模具设计来保证成形和锻件质量（例如解决变形量大而造成折纹等）。正确分配变形量是工艺设计的重点。

6) 在工作台面面积足够的条件下，还可以附带进行切边、冲孔工步，此时可不配备切边压机。

但热模锻压力机也存在以下工艺缺点：

1) 在锻造过程中，金属沿水平方向流动较为强烈，形成较大的飞边。

2) 滑块行程不能调节，不适宜进行拔长、滚挤等制坯操作。

3) 采用闭式模锻工艺时，对下料重量准确程度要求较高，否则容易发生闷车，中断生产，甚至损坏模具或设备。

4) 热锻会有氧化皮，影响一次行程就成形的锻件质量，需配电加热设备。

尽管锻压机的结构比较复杂，制造成本高，但维修费用较模锻锤低，设备的台时利用率也较锻锤高。在不用机械化和自动化的条件下，热模锻压力机的劳动条件虽然比模锻锤好，但并不能使设备生产率有显著提高。

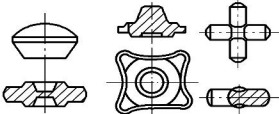
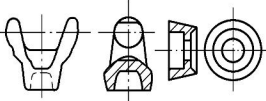
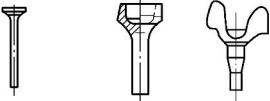
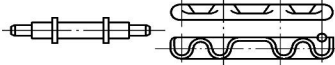
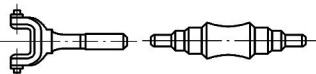
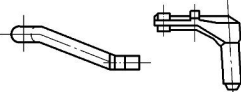
3.2 热模锻压力机模锻工艺

3.2.1 热模锻压力机模锻件的分类及锻件图的设计

1. 热模锻压力机模锻件分类

热模锻压力机模锻件分类主要是按照模锻工艺过程的特点，以及锻件外形特征将锻件分为两大类（见表 3-2）。

表 3-2 热模锻压力机锻件分类

类	组	锻件示例	主要特点	
I	1		在水平面上投影为圆形、方形或接近这种形状	主要靠镦粗和少量挤压成形
	2			不但靠镦粗,而且有较大挤压成形
	3			主要靠挤压和不大的镦粗成形
II	1		杆类	截面变化不大
	2			截面变化较大
	3			截面变化大
	4			弯曲杆

参照锻件的外形特点,可以把上模锻的零件划入一定的锻件类别,并按推荐的模锻工艺方案,制订模锻工艺。

第Ⅰ类——在平面图上为圆形、方形或近似这种形状的锻件。其中包括:

第1组——用镦压并略带压入法模锻的锻件。

第2组——用挤压并略带镦压法模锻的锻件。

第3组——用预先挤压然后镦压和压入法模锻的锻件。

第Ⅱ类——具有直长轴线的锻件,其中包括:

第1组——在主轴线上横断面面积相差不大的锻件。

第2组——在主轴线上横断面面积有差别的锻件。

第3组——在主轴线上横断面面积有显著差别的锻件。

第4组——具有弯曲轴线的锻件。其中包括:在弯曲时不要求猛烈卡压的锻件,在弯曲时要求猛烈卡压的锻件。

2. 热模锻压力机锻件图设计

热模锻压力机上模锻与锤上模锻具有很多共同点(特别在终锻型槽的结构上,均具有:静止的下模、滑动的上模、水平的分模和模锻斜度等),因此基本上可遵照前述的制订模锻锤锻件图设计部分。制订模锻锤锻件图的工艺方案,包括制图工作程序,也适用于热模锻压力机模锻件。

(1) 分型面 分型面选择原则与锤上模锻基本相同。因为有上下顶出装置,杆类锻件的分型面不一定设在锻件最大尺寸面上。在电加热条件下,机械加工余量及公差比锤上模锻略小。模锻斜度为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。确定分模线的方法与锻锤模锻件相同。但热模锻压力机可以用挤压法成形,因而热模锻压力机可以立着锻造带长杆的锻件(即杆的轴线与滑块运动方向一致),从而可按锻件成形的要求较灵活地选择分型面。但热模锻压力机锻模应避免带有落差的分型面。

(2) 余量和公差 由于热模锻压力机有不变的滑块行程,整个结构有较高的刚度,以及在锻模上有可能使用导柱等等,因此模锻件可较锤上模锻时具有更高的精确性。在热模锻压力机上模锻时,锻件公差较锤上模锻平均减小25%,在高度方向的尺寸很少受到模锻工的影响,能得到尺寸完全相同的高精度锻件。

锻锤模锻件余量公差规范中所给出的说明同样适用于热模锻压力机,参照表2-4所列出的模锻锻件尺寸余量和公差的典型规范。如表3-3所示为某厂采用的余量和公差标准。

(3) 模锻斜度 热模锻压力机上模锻时,如果用手操作在热模锻压力机终锻型槽内取出锻件,不用顶杆时,模锻斜度与模锻锤模锻件时相同。绝大多数情况下,终锻型槽内取出锻件是借助于在锻模内采用机械顶杆的办法进行

的，此时模锻斜度可以大大减小（最小可到 0° ）。但是如果斜度太小，型槽壁夹紧锻件内壁的力增大，取出锻件的阻力急剧增高，会极大地增大顶杆机构的负荷。为保证锻模及其顶杆机构顺利工作，热模锻压力机模锻斜度应按照锤上模锻锻件各部分高度 h 与宽度 b 之比以及长度 l 与宽度 b 之比确定，并由表2-7查出，数值上小一级。斜度应力求统一，按较大数值取得一致，仅在不致引起锻模制造的复杂化时，才能使用不同的斜度。

表 3-3 锻件机械加工余量、公差和技术条件 (单位: mm)

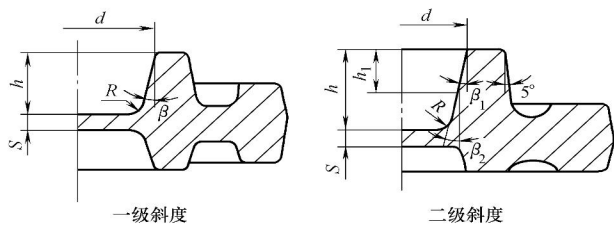
热模锻压力机 公称压力/kN	锻 件 余 量		锻 件 公 差		技 术 条 件		
	高度	水平	高度	水平	错移	残余毛刺	表面缺陷深度
≤10000	1 ~ 1.5	1 ~ 1.5	+0.8 ~ 1 -0.5	锻件自由公差	≤0.8	≤0.6	≤0.8
16000 ~ 20000	1.5 ~ 2	1.5 ~ 2	+1.0 ~ 1.5 -0.5		≤1.0	≤0.8	≤1.0
25000 ~ 31500	2 ~ 2.5	2 ~ 2.5	+1.5 ~ 1.8 -0.5		≤1.0	≤1.0	≤1.0
40000 ~ 63000	2 ~ 2.5	2 ~ 3	+1.5 ~ 2 -0.8		≤1.2	≤1.0	≤1.2
80000 ~ 120000	2 ~ 3	2 ~ 3	+2.0 -1.0		≤1.5	≤1.5	≤1.5

冲孔时，孔内壁斜度还应根据孔的相对深度而定，当孔深度大于0.75倍孔径($h > 0.75d$)时，可采用两级模锻斜度，见表3-4。

(4) 圆角半径 压力机模锻件的圆角半径建议采用与锻锤模锻件相同的尺寸(参看表2-8)。对于第一类第二组的锻件，在分模线边沿上的凸圆角半径建议不予给出，而在图上绘出锐棱，以符合实际情况。

(5) 冲孔连皮 在热模锻压力机上模锻的模锻件中，直径小于26mm的孔一般不予冲出。需冲孔时，连皮厚度通常取 $S = 6 \sim 8\text{mm}$ 。

表 3-4 孔壁模锻斜度



相对孔深	$h \leq 0.5d$	$0.5d < h \leq 0.75d$	$h > 0.75d$
β	10	12	—
β_1	—	—	$\leq 7 \sim 10$
β_2	—	—	10 ~ 15
h_1	—	—	$(0.4 \sim 0.6)h$
R	6 ~ 8	6 ~ 8	6 ~ 8

3.2.2 热模锻压力机上成形工步选择

变形工步的选择取决于锻件形状复杂程度和尺寸大小，通常按锻件分类选择适当的变形工步。

1. 热模锻压力机与锤上模锻成形比较

1) 在锤上模锻时，金属在锤头多次打击下逐步成形，锤头打击速度快，每次锤击金属变形量小，有利于毛坯上下端部金属的变形，比较容易充满型槽。热模锻压力机滑块行程一定，速度慢，每一型槽中仅一次有效行程，金属变形量大，容易沿水平方向强烈流动，形成很大的飞边，造成型槽深处充不满。对于形状复杂难于充满的锻件，必须经过多工步精密制坯，使毛坯逐步接近锻件形状。尽管热模压力机上模锻操作相对简单，但对设计水平要求较高。

2) 在热模压力机上行程和打击力量不能调节，需要采用拔长、滚挤时，就需要在其他设备（如辊锻机、平锻机、空气锤等）上进行制坯，在大批量生产时，也可采用周期性轧坯。

在锤上模锻时,经过拔长、滚压出来的锻件流线是呈波状分布,而在热模压力机上的拔长工序常用辊轧完成,变形比较均匀,流线的分布较锤上模锻好。

3) 热模锻压力机上模锻时,上下锻模打不靠,飞边阻流作用不像锤上模锻那样明显,应尽量采用镦粗法充满终锻型槽。

4) 在锤上模锻时,坯料一般在火焰炉内加热,其上的氧化皮比较容易在锻锤冲击时击碎,特别是在制坯型槽内翻转坯料时,可用压缩空气或蒸汽流来吹除,因此锤上模锻坯料的氧化皮容易去除。而热模锻压力机的滑块速度较快,模锻是在一次滑块行程内完成,氧化皮只是部分击碎,马上就被压入坯料的表面内,难以去除。为此,热模锻压力机最好采用感应方式快速加热。

5) 由于热模锻压力机导向精度高,并采用带有导柱的组合模,所以可以模锻出精度高的锻件。

6) 排气孔:锤上模锻时每次打击后锻件就要跳起,润滑油燃烧而积存的气体可以自由地溢出,而不影响金属充满模锻的形状,因此在锤锻模中不需要做这个孔。

7) 与锤上模锻所有型槽在一块模具上不同,热模锻压力机每个工步有单独模块,全部型槽都在各自分离的模块上制成,并用紧固螺栓紧固在通用模架上。这样既更换方便,又可节约大量的模具钢。

8) 尽管热模锻压力机的变形开始速度 ($0.5 \sim 1\text{m/s}$) 较模锻锤的打击速度低 ($6 \sim 8\text{m/s}$),但热模锻压力机快速行程 ($40 \sim 120$ 次/min) 较锤上模锻的行程数要少。同时,热模锻压力机每一型槽中仅有一次行程,而锤上模锻则是一型槽多次击打,因而保证了热模锻压力机的高生产率。

2. 成形工步选择

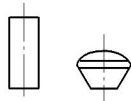
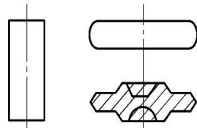
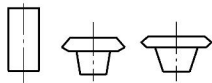
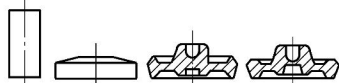
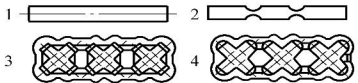
热模锻压力机上模锻的变形工步分为模锻和制坯两类。模锻工步包括终锻和预锻,制坯工步包括镦粗、成形、弯曲、辊锻等,其中辊锻在辊锻机上进行。挤压既可作模锻工步,也可作制坯工步。

(1) 第 I 类锻件的工步选择

热模锻压力机上模锻工步选择的原则与锤上模锻的不同之处在于:预锻工步用得更多,而且重要,同时挤压工步也常采用。第 I-1 类锻件锻件可按外形复杂程度来选择工步,选择时参见表 3-5,常用的工步有镦粗、挤压、预锻和终锻。

短轴线类锻件按轴对称变形要求,中间坯料应按锻件纵断面形状合理分配金属,并符合锻件平面图形状。主要采用的制坯工步为镦锻类制坯工步,并根据需要选用成形工步。这类锻件包括轴对称件和平面对称件。在模锻时通常都采用镦粗工步,其作用是去除氧化皮,更重要的是镦粗后的坯料能在变形过程中充满型槽,而且不产生折纹。

表 3-5 第 I 类锻件的工步选择

锻 件 特 点	工 步	示 例
锻件形状简单,轮廓线光滑过渡,加热质量好,毛坯与锻件外形尺寸相差不大	直接终锻	
锻件形状简单,轮廓线光滑过渡,但毛坯与直径远比锻件尺寸小	镦粗、终锻	
锻件形状比较复杂,但毛坯与锻件小端尺寸差不多 (<0.5 ~ 2mm),加热较好	预锻、终锻	
锻件形状复杂,毛坯与锻件轮廓尺寸差大	镦粗、预锻、终锻	
锻件形状复杂,具有深孔腔	镦粗、一次预锻(挤压)、二次预锻、终锻	
锻件外形较小,如 $\phi \leq 80\text{mm}$ 的小齿轮,小十字轴	一模多件,按长度类锻件选择工步	

案例 1：从动齿轮模锻过程，采用镦粗、预锻、终锻成形，如图 3-2 所示。

案例 2：薄法兰锻件的模锻

模锻带有直径大而薄的法兰边的锻件，应争取用镦粗成形的原则进行，同时还必须保证为得到所需尺寸的法兰边创造条件。

如图 3-3 所示为薄法兰边锻件的模锻工步图。毛坯在半封闭式镦粗型槽中进行镦粗，型槽上半部分是平的，下半部分制出深 35mm 并中心凸起的槽，用以使毛坯预先成形及以后定位方便；凸起部顶端是平的，以保证原毛坯放稳。

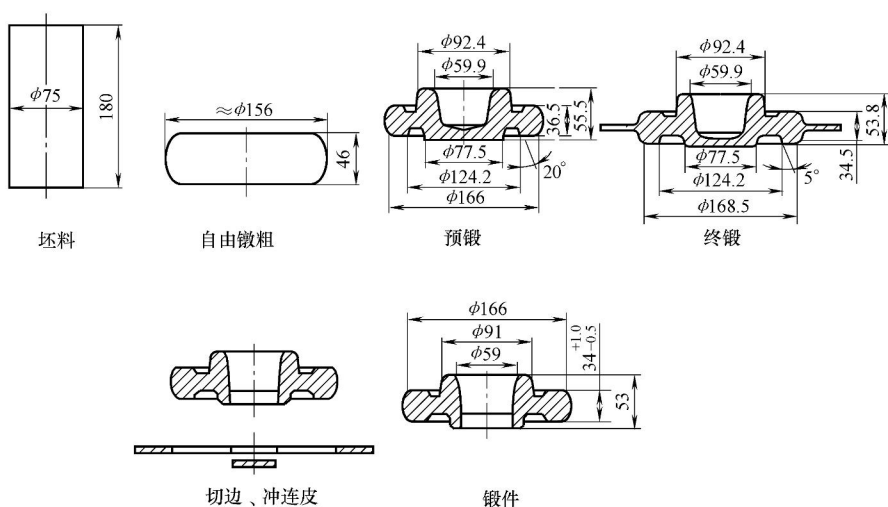


图 3-2 从动齿轮

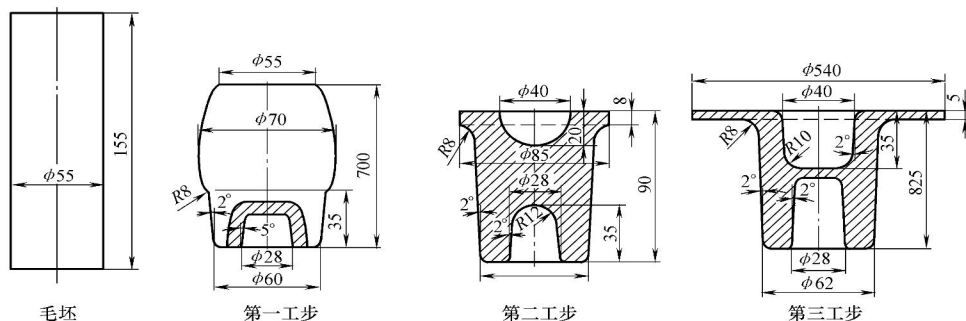


图 3-3 薄法兰锻件

预冲中心孔是在预锻工步中进行，预锻时法兰应小而厚。

在终锻时，毛坯在模槽突出部上锻粗后与型槽底部接触，接着上法兰锻粗。所有多余金属挤向法兰。在变形过程中，由于大多是锻粗形成，阻力相当小。

工艺过程包括下列四道主要工序：

- 1) 圆锯切割毛坯 ($\phi 55 \times 155\text{mm}$)。
- 2) 在火焰炉中加热毛坯，并去掉端面氧化皮。
- 3) 在 16000kN 压床上分三个工步模锻。
- 4) 在 1500kN 切边压床上热切飞边和侧滑块上冲连皮。

案例 3：利用挤压成形替代锻造成形，可节约大量金属材料，如图 3-4 所示。

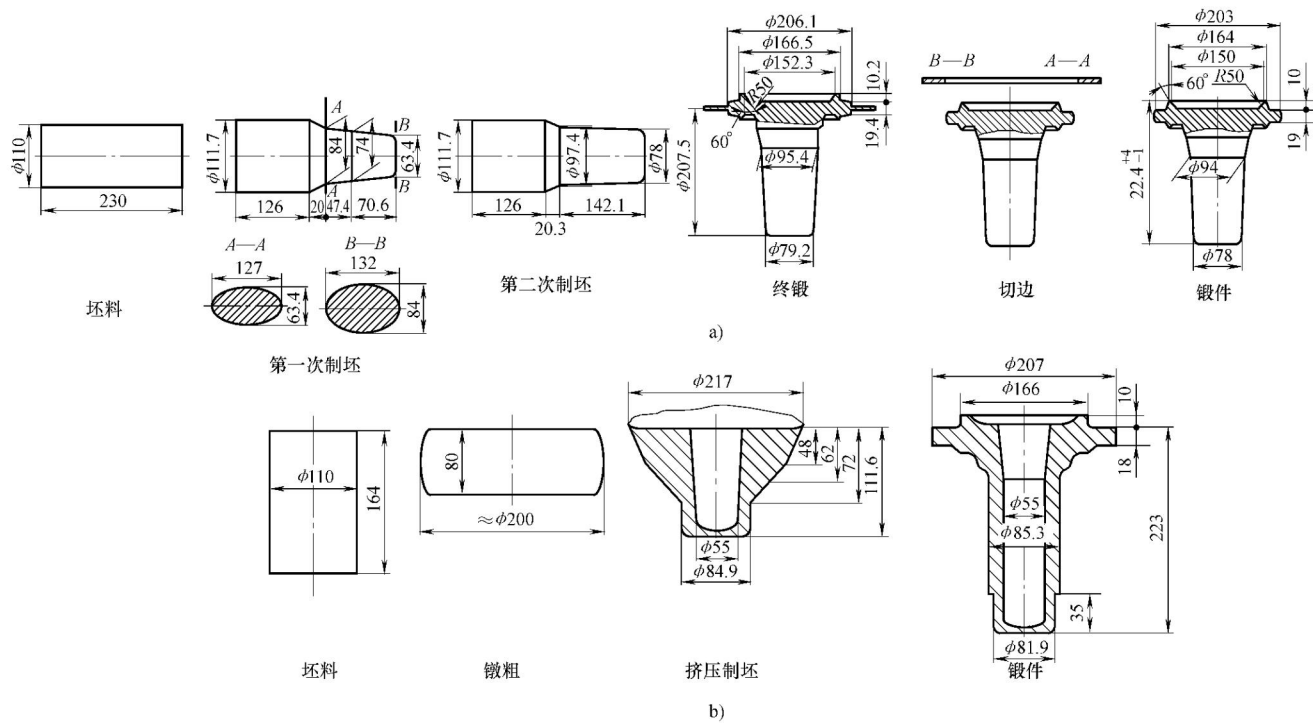


图 3-4 轮毂管轴锻造和挤压过程比较

a) 轮毂管轴锻造 b) 挤压过程

案例 4: 第 I 类第 3 组粗大头部拖拉机气阀锻件挤压成形, 如图 3-5 所示。

(2) 第 II 类组件的二步选择 第 II 类锻件工步选择原则上和锤上模锻相同。

1) 对断面变化小的锻件 (见表 3-2 中第 II 类第 1 组), 视其形状复杂程度可直接终锻或预锻—终锻。当此锻件宽度与毛坯直径之比大于 1.6 ~ 2 时, 应增加压扁工步。中间轴模锻工步如图 3-6 所示。

对扁薄锻件则采用压扁工步, 如图 3-7 所示。

2) 对断面有一定变化的构件 (见表 3-2 中第 II 类第 2 组), 当断面变化不超过 10% ~ 15% 时, 可采用压肩—终锻或压肩—预锻—终锻。

3) 对断面变化大的锻件 (见表 3-2 中第 II 类第 3 组), 一般需采用其他设备制坯 (辊锻、平锻、楔横轧、空气锤等), 采用成形毛坯 (周期性轧坯或异形断面型钢)。从动杆模锻变形过程如图 3-8 所示。

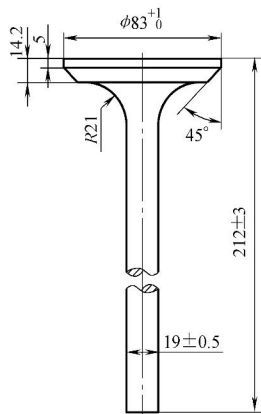


图 3-5 拖拉机气阀粗大头部用 $\phi 50 \times 600\text{mm}$ 坯料挤压成形

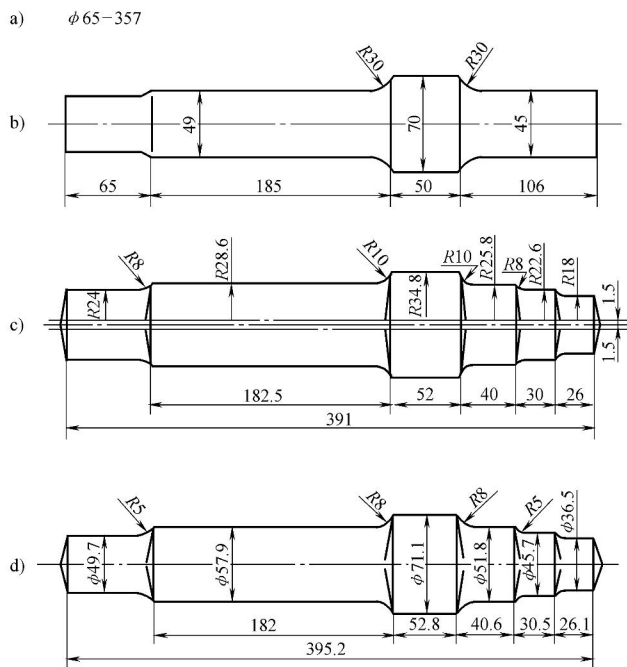


图 3-6 中间轴模锻工步

a) 原坯料 b、c) 预锻工步 d) 终锻工步

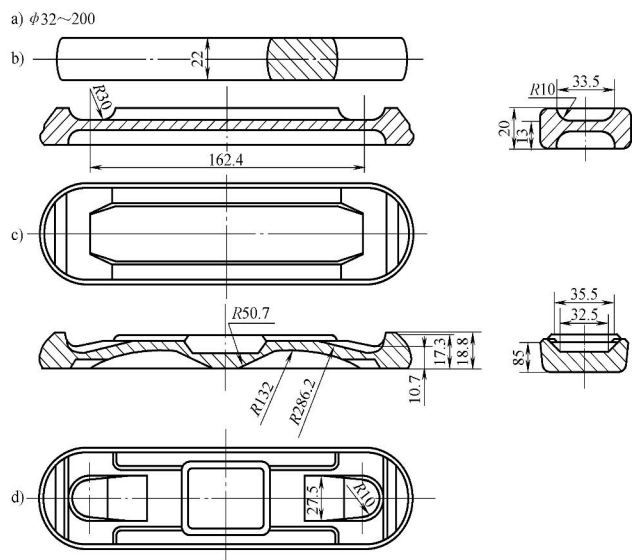


图 3-7 链轨板模锻工步

a) 原坯料 b) 压扁工步 c) 预锻工步 d) 终锻工步

4) 对长度不超过 200mm 的连杆锻件，一次锻造两个最为合适。此时两个锻件平行交错排列，大头向外，这样就可以不用毛坯模槽或仅是中部的卡锻，同时生产率高。使用中，毛坯中部常采用压平或卡锻工序，以免毛坯在没有超过型槽总宽度时而导致产生折缝。

预锻模槽应具有大的圆角半径及劈刃。当模锻斜度较大时，其外形可与终锻型相同，以便于定位。预锻及终锻槽应统一设有顶出装置。

图 3-9 为用矩形毛坯模锻成对连杆的工步。毛坯在压扁中部后进行预锻，再翻转 180°终锻。切飞边后两锻件间仍留有连皮，以便成对进行校正，保证校正的生产率及切边的一致性，校正后重切连皮将锻件分开。

图 3-10 为用方形毛坯成对模锻连杆的工步。在第一工步中完成压缩与劈开毛坯工作，此时坯料应斜放，使其两端集料与型槽重合以形成头部。预锻不形成杆部肋条，这样虽使终锻工作较为复杂，但可以防止折纹。

5) 对弯曲轴类锻件（见表 3-2 中第Ⅱ类第 4 组），是否需要采用弯曲工步的选择与锤上模锻相同，而其他工步的选择可按上述原则进行。

6) 在热模锻压力机上模锻重量和尺寸较小的锻件时，可以采用多件模锻，如图 3-11 所示，以便提高生产效率、减少工步及简化制坯型槽。

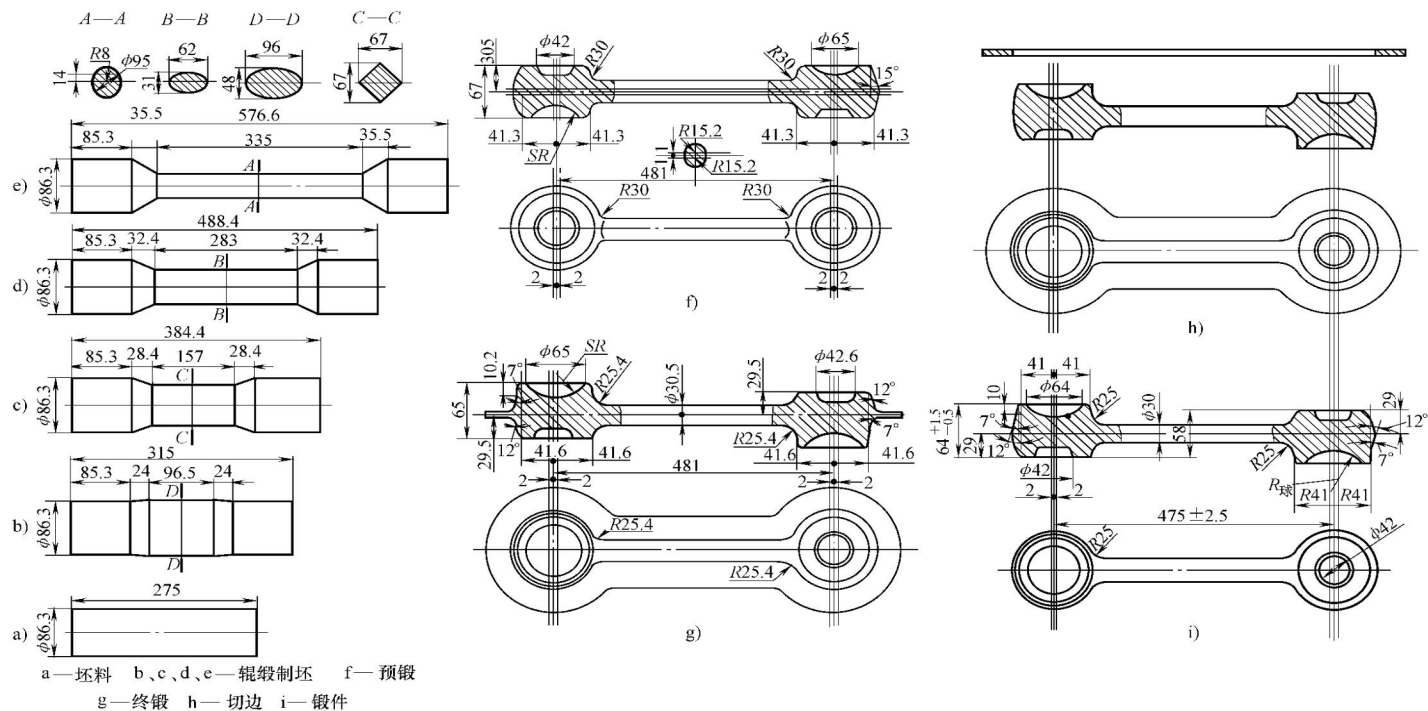


图 3-8 从动杆模锻变形过程

a) 坯料 b)、c)、d)、e) 辊锻制坯 f) 预锻 g) 终锻 h) 切边 i) 锻件

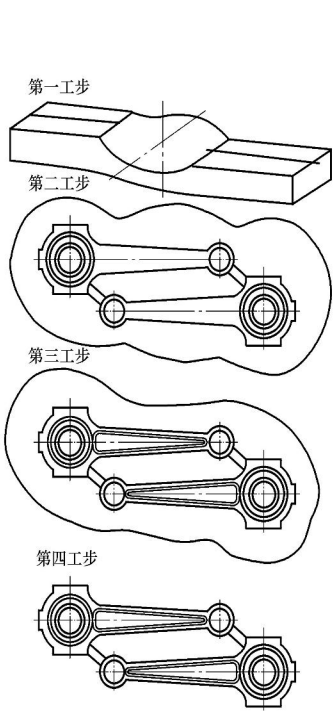


图 3-9 用矩形毛坯模锻成对连杆的工步

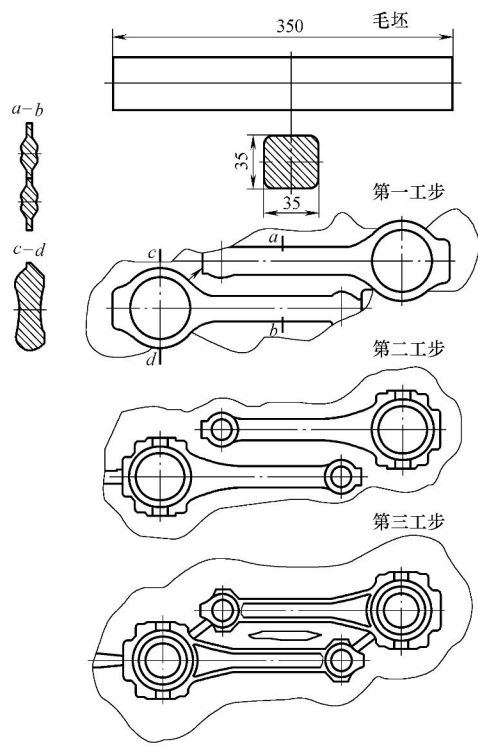


图 3-10 用方形毛坯模锻成对连杆的工步

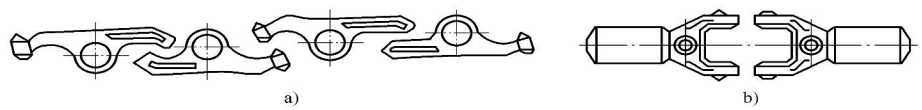


图 3-11 一模多件
a) 交错排列法 b) 一字排列法

3.2.3 坯料计算

热模锻压力机的坯料计算原则与锤上模锻相同，只是热模锻压力机的制坯方式与锤上模锻存在较大差异。而坯料的选择与锻件的形状和模锻工艺有关。

1. 计算坯料体积 V_m

$$V_m = (V_D + V_f + V_t)(1 + \delta\%)$$

式中 V_D ——锻件本体体积 (mm^3);
 V_f ——飞边体积 (mm^3);
 V_t ——连皮体积 (mm^3)。

飞边体积的计算,除锻件分类表中的第Ⅱ类第3组,一般均按坯料充满飞边仓部的50%计算。第Ⅱ类第3组中,叉类零件叉形内侧飞边按100%充满,其余部分仍按50%~70%充满计算。

锻件本体体积计算,应考虑欠压量,一般按锻件厚度方向正偏差的一半计算。

δ 为火耗,采用中频感应加热为1%,采用煤气、燃油、煤为原料的加热炉加热为3%左右。

2. 计算坯料尺寸

(1) 第Ⅰ类第1组和第3组锻件 这两组锻件多采用镦粗工步。坯料一般选取其长度与直径之比为1.8~2.2,最大不超过2.5,并且坯料端面斜度不超过5°。

$$D_m = (0.83 \sim 0.89) \sqrt[3]{V_m}$$

式中 D_m ——坯料计算直径 (mm)。

(2) 第Ⅰ类第2组锻件 这组锻件,存在一定的挤压变形,尽管也有镦粗工步,但镦粗变形量很小,而且镦粗后的坯料是平放在型槽内。一般镦粗后坯料长度比预锻型槽叉形最外侧尺寸小2~5mm。

坯料选择,应槽叉形最外侧尺寸方向找出最大锻件断面积加上该出飞边面积进行计算。即

$$D_m = (0.01 \sim 1.04) \sqrt{A_{D,\max} + A_f}$$

$$c_m = (0.89 \sim 0.92) \sqrt{A_{D,\max} + A_f}$$

式中 $A_{D,\max}$ ——坯料摆放长度方向锻件最大断面积或其相邻区段的平均断面积 (mm²);

A_f ——相应于 $A_{D,\max}$ 处飞边面积 (mm²);

c_m ——方料计算边长 (mm)。

(3) 第Ⅱ类第1组锻件 如图3-6所示长轴类锻件。当最大断面处于锻件长度中段,而且最大断面的长度较短,其两侧的断面又较小,可按最大断面积(含飞边面积)的0.65~0.9计算坯料。

$$D_m = (0.8 \sim 0.9) \sqrt{A_{D,\max} + A_f}$$

(4) 第Ⅱ类第2组锻件 例如连杆锻件,先计算大端的平均断面积,再计算坯料断面。

$$V_h = (V_{D,h} + V_{D,f} + V_{D,f}) (1 + \delta\%)$$

$$A_{h,p} = \frac{V_h}{L_h}$$

$$c_m = \sqrt{A_{h,p}}$$

$$D_m = 1.13 \sqrt{A_{h,p}}$$

式中 V_h ——锻件大端体积 (mm³);

$V_{D,h}$ ——锻件大端本体体积 (mm^3);

$V_{D,f}$ ——锻件大端飞边体积 (mm^3);

$V_{D,f}$ ——锻件大端连皮体积 (mm^3);

δ ——火耗;

L_h ——锻件大端长度 (mm);

$A_{h,p}$ ——锻件大端平均断面积 (mm^2);

c_m ——方形坯料边长 (mm);

D_m ——圆形坯料直径 (mm)。

(5) 第 I 类第 3 组锻件 计算体积时, 叉形部位内侧飞边槽按 100% 充满。同时, 由于预锻时采用劈开分流, 金属沿叉形开口方向流失到飞边去, 所以, 叉形部分的计算断面采用叉形部位的平均断面积。叉形部分的体积应按计算的体积增大 10% ~ 13%, 作为金属流出到叉形外飞边槽的体积。

$$V_m = [V_{D,c} + V_{f,g} + (V_{D,g} + V_{f,c})(1.1 \sim 1.3)](1 + \delta\%)$$

$$A_{D,c} = (V_{D,c} + V_{f,c})(1.1 \sim 1.3)L_c$$

$$c_m = \sqrt{A_{\max} + A_f} \text{ 或 } c_m = \sqrt{A_{D,c}}$$

$$D_m = 1.13 \sqrt{A_{\max} + A_f} \text{ 或 } D_m = 1.13 \sqrt{A_{D,c}}$$

式中 $V_{D,g}$ ——锻件杆部体积 (mm^3);

$V_{f,g}$ ——锻件杆部飞边体积 (mm^3);

$V_{D,c}$ ——锻件叉形部位体积 (mm^3);

$V_{f,c}$ ——锻件叉部飞边体积 (mm^3);

$A_{D,c}$ ——锻件叉部平均断面积 (mm^2);

L_c ——锻件叉部长度 (mm);

D_m, c_m ——计算坯料直径, 方形边长 (mm)。

选择坯料时, 应根据锻件沿长度方向上最大断面积或叉形部位最大断面积来选择。多件模锻及其他类锻件的坯料选择, 可按上述类别进行。

3. 坯料选定

根据计算坯料的尺寸 D_m 或 c_m 值, 按国家标准的圆钢或方钢规格选用。选定坯料规格后, 计算出坯料长度。

$$L_m = \frac{V_m}{\frac{\pi}{4} D_m^2} = 1.27 \frac{V_m}{D_m^2}$$

或

$$L_m = \frac{V_m}{c_m^2}$$

坯料规格需通过调试后最终确定。

3.2.4 热模锻压力机公称压力确定

热模锻压力机属曲柄连杆机构，其滑块行程固定，必须经过下死点后才能回程。金属的变形在滑块一次行程内完成。在变形过程中，锻压机按变形的需要施加工作压力，但金属在变形过程中的变形抗力应小于锻压机负荷曲线上允许的压力，否则会损坏锻压机的工作零部件或发生“闷车”。所以在锻压机上模锻，不允许超载工作。

热模锻压力机公称压力的选择，是根据锻造的锻造压力 P ，以及模具的安装空间等确定。可按下列经验公式进行计算：

$$P = (50 \sim 70) F$$

式中 P ——变形力 (kN)；

F ——包括飞边桥部在内的锻件投影面积 (cm^2)。

本公式适宜于估算锻件变形力，初步选用热模锻压力机的型号。

式中系数 50 ~ 70，对于锻件形状简单、过渡圆角较大、外圆角较大、壁厚较厚、肋低而厚的可取小值。对于形状复杂、扁薄、型槽窄而深、外圆角小的锻件应取大值。

根据实践经验，“闷车”常常在预锻工步中发生，在选用设备公称压力时应予注意。使用吨位最好是设备公称压力的 80%，这样有利于防止“闷车”，提高锻件质量，减少设备维修。因此表 3-6 中列举了推荐的合理锻造直径。

表 3-6 热模锻压力机公称压力的选择

锻件投影面积 (包括飞边桥部)/ cm^2	盘形锻件允许锻造的直径/mm		推荐的合理锻造直径 /mm	设备吨位 /kN
	包括飞边桥部	锻件本体		
137 ~ 159	132 ~ 143	112 ~ 123	100 ~ 110	10000
219 ~ 250	167 ~ 178	147 ~ 158	125 ~ 138	16000
246 ~ 281	177 ~ 189	157 ~ 169	138 ~ 149	18000
274 ~ 312	187 ~ 199	163 ~ 175	147 ~ 158	20000
342 ~ 390	208 ~ 223	184 ~ 199	163 ~ 176	25000
430 ~ 490	234 ~ 250	210 ~ 226	182 ~ 199	31500
547 ~ 625	264 ~ 282	240 ~ 258	212 ~ 228	40000
860 ~ 985	331 ~ 354	301 ~ 324	276 ~ 292	63000
1095 ~ 1250	374 ~ 399	344 ~ 369	308 ~ 326	80000
1570 ~ 1820	422 ~ 465	392 ~ 435	369 ~ 390	120000

3.3 热模锻压力机型槽设计

热模锻压力机模锻型槽的设计方法与锤锻模基本相同。由于压力机模锻的预锻工步用得较多,预锻型槽和终锻型槽的差别往往较大,所以除了设计热锻件图外,还要设计各工步的毛坯变形图,通常称为“工步图”,以用来制造各个型槽。

绘制模锻的各个工步时,应解决锻件图形在哪一部分工步应向上放置的问题,同时在每一工步中应注意坯料找正中心的稳固性及可靠性,解决哪一个工步需用顶杆,所需顶杆的数量、形式以及在型槽内应如何布置等问题。此后,还应进行下列工作:选择型槽模块及紧固件的形式,解决型槽模块之间相互位置的问题,设计型槽模块。

选择型槽模块的形式与尺寸时,应从包括飞边槽在内的型槽在平面图上的形状与尺寸出发,考虑模壁强度是否足够。为了使热模锻压力机的曲柄连杆机构零件受到尽可能均衡的负荷,终锻型槽应安排在中心部分,并简化顶杆装置。如果在具有导柱的条件下,即使型槽位置不在中心,锻件各部分亦不致产生错移时,可以将全部型槽按照工艺顺序依次安排在一列上面,以提高模锻生产率。

锻模分模面不是平面时,则在型槽模块上需要采用锁扣。在设计锁扣时,为避免产生型槽模块相向移动,应遵照设计锤锻模锁扣所用的那些规则来进行,以便在型槽内所产生的剪切应力不致传到导柱上去。在模块上带有锁扣时,型槽伸出在分模线以上的凸块必须做成镶入式。

3.3.1 终锻工步与型槽设计

终锻型槽设计的主要内容是确定型槽尺寸、选择飞边槽和排气孔以及正确布置顶料杆等。

1. 型槽尺寸的确定

热模锻压力机终锻型槽按热锻件图制造,其热锻件图的设计方法与锤上模锻的相同,是将锻件图的所有尺寸加上收缩率后绘制的。对于钢锻件,收缩率一般为 $1\% \sim 1.5\%$;对细长或扁薄的锻件,收缩率取为 1.2% 。对模锻后还要进行校正或压印等后续工序的杆类件,考虑到后续工序会使其长度方向尺寸有少量增加,收缩率可取为 $1\% \sim 1.2\%$ 。

除了考虑收缩率外,设计热锻件图时还应考虑:

- 1) 切飞边和冲孔连皮时锻件可能产生的变形。
- 2) 终锻型槽的局部磨损,型槽易磨损处可在锻件负公差的尺寸上增加适当磨损量,以提高锻模的寿命。
- 3) 在下型槽易积聚氧化皮的部位,锻件的尺寸应增加 2mm 。

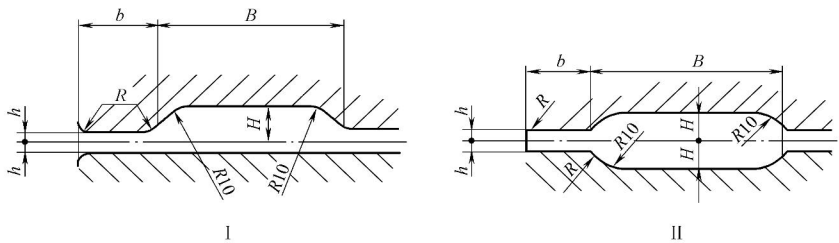
4) 当热模锻压力机和模具的弹性变形量较大时, 应将热锻件的高度尺寸适当减小, 以抵消其影响。

5) 为减少热锻件停留时间对锻模的影响, 尽可能将较深的型槽放在上模。

2. 飞边槽

1) 为防止压力机“闷车”, 在热模锻压力机上模锻时, 上下锻模不直接接触, 没有承击面。在滑块行至下死点 (即设备的封闭高度) 时, 上下模分型面之间有间隙。预锻型槽和终锻型槽的上下模间隙, 即是飞边桥部的厚度。飞边槽的尺寸可按设备的公称压力确定 (见表 3-7)。

表 3-7 飞边槽尺寸



设备公称压力/kN	b/mm	h/mm	H/mm	B/mm	R/mm
10000 ~ 16000	10 ~ 12	1.2 ~ 1.5	5	25 ~ 30	1.5 ~ 2
18000 ~ 25000	10 ~ 14	1.5 ~ 2	5 ~ 6	30 ~ 35	2 ~ 3.5
31500 ~ 40000	12 ~ 14	2 ~ 2.5	6 ~ 7	35 ~ 40	2 ~ 3
63000 ~ 80000	12 ~ 18	2.5 ~ 3.5	7 ~ 8	40 ~ 45	3 ~ 4
120000	14 ~ 16	2.5 ~ 4.0	8 ~ 10	45 ~ 50	3 ~ 5

2) 热模锻压力机上模锻中, 金属在终锻型槽内的变形主要是镦粗, 飞边的阻力作用不像锤上模锻那么重要, 而较多的是起着排出和容纳多余金属的作用。因此, 飞边槽桥部及仓部比锤上的相应部分大一些, 其结构形式及尺寸见表 3-7。形式 I 使用得比较普遍, 形式 II 用于形状较简单的锻件。

3) 当飞边槽仓部到模块边缘的距离小于 20 ~ 50mm 时, 可将仓部直接开通至模块边缘。

3. 排气孔

如果终锻型槽带有较深的空腔, 金属在滑块的一次行程中成形时, 聚集在深腔内的空气受到压缩无法排出, 会产生很大的压力, 从而阻止金属充满型槽。因此, 应在深腔中金属最后充满处设排气孔 (详见本章中的排气孔设计部分)。排气孔的直径为 $\phi 1.2 \sim \phi 2\text{mm}$, 孔深为 5 ~ 15mm, 后端可用 4 ~ 5mm 的通孔与通道连通。对

环形的型槽，排气孔一般对称地设置；对深窄的型槽，一般只在底部设置一个。如果型槽底部有顶出器或其他排气的缝隙时，则不需另开排气孔。

4. 顶杆

在设计终锻型槽时，应保证顶料装置（顶杆）的合理布置（详见本章中的顶杆装置部分）。

此外，热模锻压力机锻模一般不用钳口。检验型槽的浇口可以利用顶杆孔替代。

3.3.2 预锻工步与型槽设计

1. 预锻型槽设计

由于热模锻压力机的金属充填型槽的能力较差，为了在压力机上模锻时制出与在锤上单个终锻型槽内模锻时那样形状复杂的零件，则应采用多槽模锻。多槽模锻的数量和形状可参照锤上模锻工艺过程进行选择。第一型槽内所制出的坯料将与在锤上第一次冲击后所获得的形状一样，而在第二型槽内所制出的坯料则与在锤上第二次冲击后一样。这样，直到获得最终结果为止，正与在锤上模锻时所获得的形状一样。在压力机用模内，关于形状递变所需的型槽数目一般紧缩到2~4个以内。在这些条件下模锻最复杂的工艺过程是以下4个工步：①在型砧上锻压；②成形；③预锻；④终锻。

同时，应使设计的预锻工步图在终锻型槽内尽可能镦粗成形。当终锻时金属不能以镦粗而主要靠压入方式充填型槽时，应使预锻件侧面一开始就与终锻型槽的模壁接触，以限制金属沿径向流动，迫使其流向型槽深处。

1) 形状简单的锻件，预锻型槽可不设飞边槽，因为预锻型槽的容积比终锻型槽大一些，可不产生飞边。对于形状复杂的锻件，需设飞边槽，其桥部高度比终锻型槽飞边槽桥部高度大30%~60%，预锻型槽飞边槽尺寸见表3-8。

表 3-8 预锻型槽飞边槽尺寸 (单位：mm)

飞边槽 尺寸	热模锻压力机公称压力/kN								
	10000	16000	20000	25000	31500	40000	63000	80000	120000
h	3	3	4	5	6	6	7	7	9
b	10	10	10	12	15	15	20	20	24
B	10	10	10	10	10	10	10	12	18
L	40	40	40	50	50	50	60	60	60
r_1	1.5	1.5	2	2	3	3	3.5	3.5	4
r_2	2	2	2	2	3	3	4	4	4

2) 预锻工步图某些部位的形状尺寸与终锻工步应基本吻合, 以便在终锻时更好地定位和防止形成折叠。

3) 热模锻压机预锻型槽不设置排气孔。

4) 由于热模锻压机锻模预锻型槽的形状和尺寸与终锻型槽有较大的差别, 因此通常要绘制预锻热锻件图为制造预锻型槽用。

2. 圆形锻件

1) 应严格控制预锻件各部分的体积, 使终锻时多余金属能合理地流动, 避免产生金属回流或折叠等缺陷。对于齿轮的轮毂部分, 预锻工序的金属体积可比终锻工序大 1% ~ 6%。预锻型槽的高度尺寸比终锻型槽相应大 2 ~ 5mm, 而宽度尺寸适当减小, 并使预锻的横断面积稍大于终锻件相应的横断面积。若终锻件的横断面呈圆形, 则相应的预锻件横断面应为椭圆形。横断面的椭圆度约为终锻件相应断面直径的 4% ~ 5%。需要冲孔但孔径不大的锻件, 预锻件的内孔深度与终锻件相应内孔深度之差不应大于 5mm, 否则终锻时内孔将有较多的金属沿径向流动, 形成折叠。当孔径较大时, 必须将终锻型槽设计成带仓连皮结构, 以容纳连皮处多余的金属。

预锻冲孔连皮:

①当 $D \leq 1.5H$ 时, 采用图 3-12a 所示连皮: $S = h$

图中 h ——飞边桥部厚度;

D ——孔径;

H ——孔深;

S ——连皮厚度。

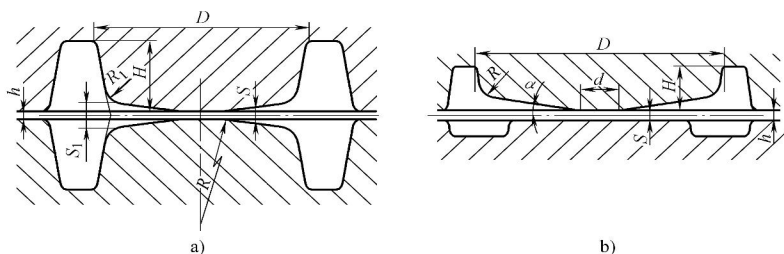


图 3-12 预锻冲孔连皮

$$S_1 = (1.5 \sim 2) S$$

式中 S_1 ——连皮最大厚度。

$R_1 = 5 \sim 20\text{mm}$, 可根据 S , S_1 作图选定

式中 R_1 ——连皮圆角半径 (mm);

R ——连皮圆弧半径 (mm)。

②当 $D \geq 1.5H$ 时, 采用图 3-12b 所示连皮: $S = h$

$$d = (0.25 \sim 0.33)D$$

$$\alpha = 5^\circ \sim 7^\circ$$

$$R_1 = 10 \sim 30\text{mm}$$

式中 d ——连皮中部平均直径 (mm);

α ——连皮斜度;

R_1 ——连皮圆角半径 (mm)。

例: 图 3-13 是具有轮毂、轮辐和轮缘的齿轮类锻件。

1) 为使预锻件易于放进终锻型槽, 预锻件内侧尺寸应比终锻件大 0.5mm 左右, 如图 3-13 中的 $\phi 53.8\text{mm}$ 与 $\phi 52.8\text{mm}$; 外侧尺寸比终锻件小 0.5 ~ 1.0mm, 如图中的 $\phi 91.3\text{mm}$ 与 $\phi 92.3\text{mm}$ 。但是, 在轮辐向轮缘过渡处, 虽然这部分是内侧尺寸, 预锻工步尺寸比终锻工步尺寸小, 如图中的 $\phi 59\text{mm}$ 与 $\phi 62.4\text{mm}$ 。若轮辐比较薄, 轮辐和轮缘厚度相差在 1 倍以上更需注意, 以防止产生折纹。

2) 轮辐厚度尺寸。预锻工步可以和终锻工步相等或略小, 预锻工步为 8.5mm, 终锻工步为 9.1mm, 一般相差 0.5 ~ 1mm。

3) 轮毂部分, 预锻工步的体积比终锻工步的体积大 1% ~ 3%。当轮辐比较薄而且比较宽时, 设计应取小值。

4) 高度方向, 预锻工步尺寸比终锻工步尺寸应大 1 ~ 3mm。孔深、预锻工步比终锻工步尺寸小, 但不宜大于 6mm。

5) 预锻模槽底部有一 $\phi 78\text{mm}$ 的槽作定位。

3. 长轴类圆锻件

这类锻件预锻工步宽度尺寸应比终锻工步尺寸小 0.5 ~ 1mm, 高度尺寸应大 2 ~ 5mm。这种设计是保证终锻时镦粗成形。如果原坯料或压挤后的坯料两端断面积较大而总长度较短, 为使坯料在预锻时流向两端充满型槽, 预锻工步在两端的一段范围内, 其高度应取大值, 例如 10mm (图 3-6)。

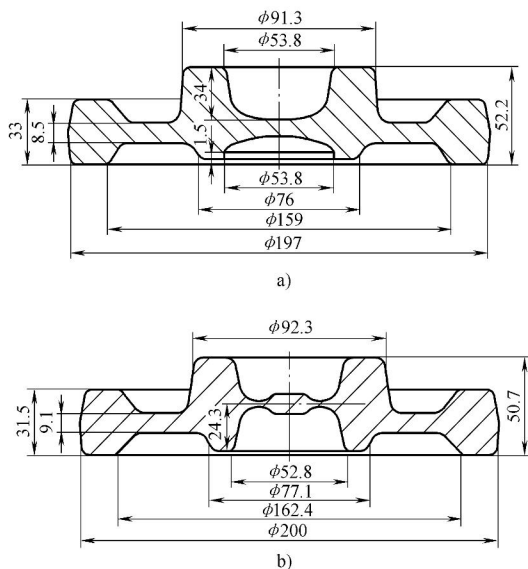


图 3-13 齿轮类预锻与终锻零件图

4. 具有工字形断面的锻件

设计要点：预锻工步高度尺寸比终锻高度尺寸大 2 ~ 5mm，在工字形段可取小值。预锻工步的工字形的宽度比终锻工步的要小 0.5mm 或相同。工字形断面积预锻工步比终锻大，模锻斜度也可不同。如图 3-14 中的 B—B 和 C—C 为连杆大小头过渡处的剖面。工字形向两端过渡处的圆角可增大 50% ~ 100%。

5. 叉形锻件

设计要点：叉形部位采用劈开分流，如图 3-15 中 A—A 所示。劈开分流可以采用大的圆角或斜面形式。本图中所示为大圆角，适用于叉形内侧尺寸较小的锻件。当叉形内侧尺寸较大，则采用斜面和大的圆角过渡。劈料中间有平直段，取约为叉口宽度的 1/4 ~ 1/3 为宜，斜面斜度为 7° ~ 10°。

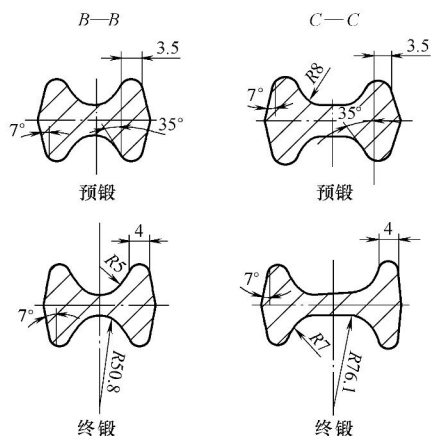


图 3-14 连杆大小头过渡处剖面

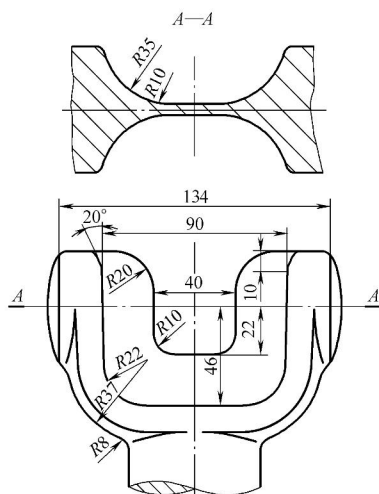


图 3-15 叉形部位劈开分流

3.3.3 制坯工步与型槽设计

热模锻压力机锻模一般允许采用 1 ~ 2 个制坯工步。由于每道工序在压力机的一次行程中完成变形的特性，所以要求制坯工步按锻件的形状、尺寸使坯料逐步变形，合理分配金属，为预锻、终锻提供完善的中间坯料。热模锻压力机的金属充满型槽能力较差，因此中间坯料的形状就要求复杂些，从而更接近于锻件形状。

1. 镦粗制坯及型槽

(1) 镦粗尺寸 对于具有轮毂、轮辐和轮缘的齿轮锻件，应使镦粗饼能覆盖住轮缘宽度的 2/3 以上为好。坯料镦粗的直径一般要超出齿轮预锻型槽轮辐的凸台

直径, 超出值为轮缘宽度的 $2/3$, 并尽可能地接近预锻型槽的边缘, 一般比锻件最大外径小 $3 \sim 5\text{mm}$ 左右。同时, 相当于轮毂部分镦粗后坯料的体积应比轮毂部分的体积大 $1\% \sim 3\%$ 。这样分配金属有利于轮缘的充满, 且不会由于金属的回流而使锻件形成折纹。镦粗的直径较大, 也有利于中间坯料放置到预锻(终锻)型槽时准确定位, 以使四周产生的飞边比较均匀。

轮毂为对称时的锻件镦粗工步体积校核:

以 D_1 为假想外径的轮毂回转体体积 V_D 等于或略小于镦粗后相应于 D_1 为直径的圆柱体体积 V'_D (见图 3-16)。即

$$V'_D - V_D \leq (1 \sim 4)\% V_D$$

当轮毂低, 圆角又较大时, V'_D 与 V_D 之差值可取小值, 即 $1\% \sim 3\%$ 。

如果 V'_D 过大, 预锻时轮毂部分金属过多, 金属向水平方向流出, 使轮缘内侧充不满, 缺少金属。终锻时, 飞边阻力增大, 金属返流形成折纹。特别是高轮毂、薄轮辐的锻件, 形成折纹可能性较大。

轮毂为不对称时的锻件镦粗工步体积校核:

图 3-17 中锻件中间的孔偏向一边而且较深, 为使金属能充满轮毂的顶部, 镦粗后高度应适当放大。即

$$V'_D - V_D = (20 \sim 25)\% V_D$$

实际上, 如果按预锻过程中坯料被压到型槽边缘外壁相接触时计算, 这时体积 V'_D 与 V_D 的差值只有 $1\% \sim 3\%$ 左右。因为开始变形时, 中间孔部位先变形, 所以金属会往外流。当坯料被冲头和上模压向四周接近轮缘外缘时, 中心已被冲出一个具有一定深度的孔。这时, 已冲出的部分体积应当在原计算的 V_D 中除去, 如图 3-17 中虚线所示。

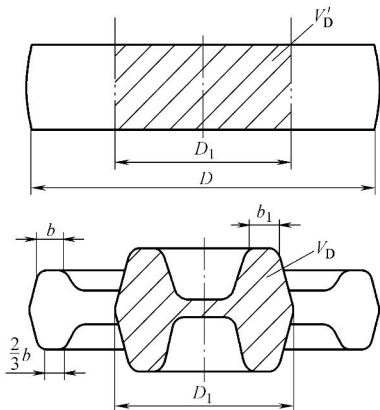


图 3-16 对称轮毂镦粗后的毛坯尺寸

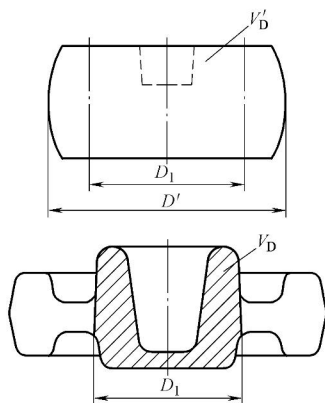


图 3-17 非对称轮毂镦粗后的毛坯尺寸

毛坯镦粗后的高度，一般情况应等于锻件的最大高度或略小 $1 \sim 2\text{mm}$ ，使毛坯的外径尽量接近锻件的外径。这样便于下一工步放置毛坯时对准模槽中心，从而保证更好地成形。

(2) 镦粗形式 热模锻压力机上镦粗工步分为平砧镦粗和成形镦粗。

1) 所谓平砧镦粗就是坯料在两个敞开的平面砧之间的自由镦粗，以减低高度增加断面，这种方法能很好地清除坯料侧面的氧化皮。除毛坯有特殊要求外，在一般情况下多采用平砧镦粗。

图 3-18 列举了几种镦粗与压形槽的形状。图 3-18a 的作用主要是增大端部直径、便于定位，用于主要以镦粗成形而端部设有很小的凹槽的锻件。图 3-18b 的作用与图 3-18a 差不多，但有减小金属流入飞边槽的可能性，一般用于直径较大、镦粗与压入混合成形的锻件。图 3-18c 兼有成形作用，主要用在要求毛坯外缘较厚的锻件，达到镦粗成形的目的。图 3-18d 用于当锻件顶端有较深凹槽时。

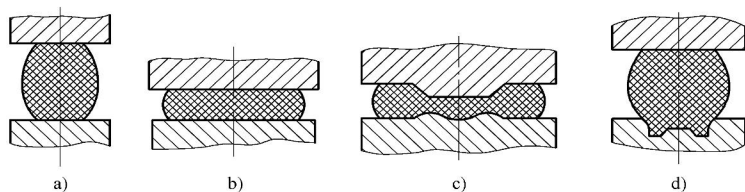


图 3-18 平砧镦粗

平砧镦粗台（见图 3-19）通常用于圆形件镦粗。每一种模架的封闭高度 H 是定值。下模座和镦粗上模是通用件，因此， h_2 和 h_3 是定值。设计时，要求下模高度 h_1 比预锻型槽下模块的上平面高 $5 \sim 10\text{mm}$ ，以便将镦粗后的坯料推到预锻模块上。为满足上述要求，只能调节镦粗下模的高度 h_4 来解决。镦粗下模磨损后，需要翻新，使 h_4 变小。这时，可调整垫片 2 的厚度 h_5 来进行补偿。镦粗下模 3 的底部工作面为圆形，底面直径 d 应尽可能大一些，在台阶处应保持间隙 Δ ，其值为 $1 \sim 2\text{mm}$ 。按坯料自由镦粗后最大外径比预锻型槽在分型面上的直径小 $1 \sim 3\text{mm}$ ，或以其

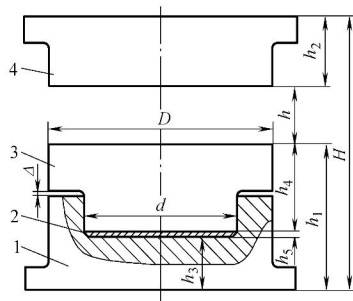


图 3-19 镦粗台

1—下模座 2—垫片

3—镦粗下模 4—镦粗上模

能放进预锻型槽作为原则，来确定坯料的镦粗高度 h 。镦粗台的尺寸主要根据镦粗后毛坯高度和直径来确定，计算方法与锤上一样。镦粗台可以是最简单的平面，也可以根据锻件形状和坯料尺寸，做出定位部分。而形状复杂锻件的镦粗台往往带有压形性质，此时不仅在高度方向，而且在水平方向都限制金属的流动。

2) 成形镦粗见图 3-20，平砧要使镦粗所得毛坯或原毛坯很接近预锻和终锻的形状是困难的，为保证终锻很好地填满模槽，常选用成形镦粗。经过成形镦粗后的坯料能达到一定的形状要求，使毛坯更接近于预锻（或终锻）工步图，从而改善金属在预锻（或终锻）模中的流动情况，以更好地充满模槽。其中图 3-20a、b 用途相近，均用于 I—I 组中形状不太复杂的锻件。图 3-20b 因定位困难，用得较少。图 3-20c 用于要金属向四周分开，并预先在中心形成腔部和法兰的锻件，其下端凹槽便于下一工步定位。图 3-20d 用于挤压成形的锻件。

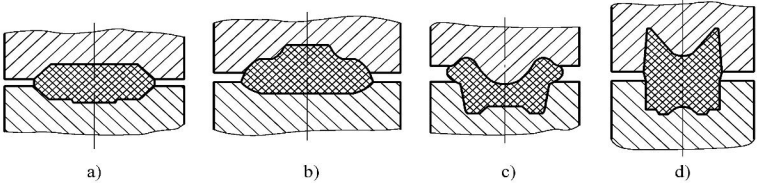


图 3-20 成形镦粗

由于一般原材料剪切下料后，端面存在斜度（ $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$ ），会使镦粗后坯料上下平面错移，偏向一边，故建议尽可能不采用成形镦粗。如果毛坯端面有斜度，型槽上部窄的部分与直径大的部分可用大的半径和斜度相连，这样能使倾斜的毛坯在镦粗前保持垂直，从而消除上述缺点。

成形型槽的设计，应遵循预锻型槽的设计原则，此时将成形型槽当做预锻型槽，而将预锻型槽当做终锻型槽来处理。所不同的是：由预锻到终锻应尽量以镦粗成形为主，而由成形型槽到预锻型槽的要求就不一定了。成形镦粗型槽（见图 3-21）的上、下模均带有一定形状的型槽，其作用是使镦粗后坯料的形状易于在预锻型槽中定位或有利于金属成形。为了便于将镦粗的坯料从下模中取出，下模上部设有一高 20mm 的凸台，作为起料时夹钳的支点。

2. 挤压制坯

对带有杆部的锻件，锻压机可用挤压的方法使杆部成形（见图 3-22），这一点是在模锻锤上难以做到的。

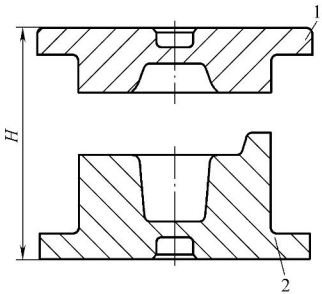


图 3-21 成形镦粗型槽
1—上模 2—下模

3. 压挤（扁）工步

可参见锤上模锻压扁工步设计部分，根据热模锻压力机的成形特点，有以下几点需要注意：

(1) 压下量 热模锻压力机滑块行程一定，压挤一次的压下量不能大于坯料高度的 $1/3$ 。否则，压挤后宽度与高度比大于 2.5 ，在下一工步易产生折纹。特别对于在同一型槽中多次压挤的压挤工步设计，则更要注意这一点。

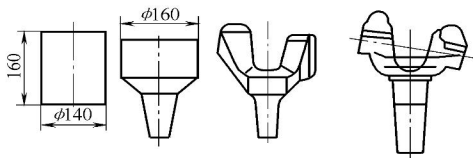


图 3-22 转向节的成形过程

(2) 聚料作用 压挤型槽有一定的短程聚料作用。设计压挤工步时，在相应于锻件本体大小断面过渡处，设计成斜度或大圆角过渡。

(3) 压挤型槽形状 压挤型槽横断面形状尽可能设计成扁圆形，聚料效果良好。旋转 90° 放到下一工步型槽时，有利于充满型槽。

4. 弯曲工步

弯曲工步设计（图 3-23）应使弯曲后坯料的厚度比预锻型槽的宽度小。在旋转 90° 后坯料可以完全放在预锻型槽内，以墩粗方式充满型槽。弯曲工步在相应于锻件轮廓急剧变化的部位，应尽量用大圆角圆滑过渡，以防止在下一工步形成对流折纹。并且，其横断面应设计成扁圆形。

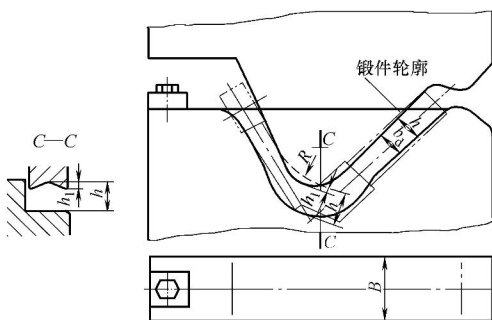


图 3-23 弯曲型槽

1) 型槽深度： $h \leq (0.8 \sim 0.9) b_d$ ， b_d 为锻件相应断面的宽度（mm）。容易堆积氧化皮和型槽较深处， h 应加大。

2) 型槽宽度：用型材作坯料时， $B = \frac{A_0}{h_{\min}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$

式中 A_0 ——坯料断面积（ mm^2 ）；

$h_{\min}$ ——型槽最小深度（mm）。

用预制的坯料时， $B = \frac{A_1}{h_{\min}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$

式中 A_1 ——型槽最小深度 $h_{\min}$ 处相应坯料断面积（ mm^2 ）。

应使 $B \geq \frac{A_{\max}}{h_2} + (10 \sim 20) \text{ mm}$

式中 $A_{\max}$ ——坯料最大断面积 (mm^2);
 h_2 ——最大断面处的型槽深度 (mm)。

3) 为使坯料定位并防止压弯时坯料偏向一边, 弯曲型槽的突出部分 (或仅上型槽突出部分) 在宽度方向应做成弧形凹坑 (见图 C—C), 并使弧形凹坑部分的深度 $h_1 = (0.1 \sim 0.2)h$, h 为型槽相应部分的深度 (mm)。

5. 压肩工步

压肩工步及其型槽设计与锤上模锻相同。

6. 拔长工步

体积分配: 由于热模锻压力机的行程不能调节, 不适宜进行拔长、滚挤等制坯操作。在模锻第二、三类锻件时, 往往需要用其他锻压设备完成制坯工步。可以与热模锻压力机配套的锻压设备很多, 辊锻机就是其中最常见的一种。加热坯料经辊锻制坯后立即送到热模锻压力机上模锻 (预锻和终锻), 锻件一火锻成。辊锻机和热模锻压力机均具有生产率高的特点, 这种设备配置方式特别适用于大批量生产。(辊锻制坯详见第7章)

3.4 热模锻压力机模具结构及紧固

热模锻压力机滑块速度低, 工作平稳, 所以其上锻模通常采用组合式模块结构。每台设备一般配置数套通用模架, 模块按标准设计, 安装在通用模架内。

1. 模架

模架主要由顶出机构、导柱导套、垫板、上下模板、压板、调节件等零件组成。模架的上、下模座分别用螺栓紧固于压力机滑块和工作台面上。

热模锻压力机上的模块是经常更换的, 一般生产几千件后即需翻新或报废, 而模架是长期使用。由于各种锻件要求的工步数不同, 模块形状不同 (有圆形和矩形的), 以及每个模块所需的顶出器数目不同 (有一个或两个), 所以每台热模锻压力机必须设计几套通用模架。模架在结构上应保证模块装拆和调整方便, 坚固牢靠, 通用性大。模架的形式很多, 可按不同的工艺要求设计。

(1) 模架结构形式

1) 压板式模架。这类模架的主要特点是采用斜面压板来压紧模块, 具有坚固刚性大、结构简单、允许模块多次翻新使用的优点, 但模块的长度和宽度尺寸不允许过大, 压紧斜面的加工要求较高, 模块拆装调整较困难, 因此它适用于大批量少品种的圆饼类锻件或长度较短的长轴类锻件生产。与压板式模架相应的模块有圆形和矩形两种形式。

矩形模块模后方用挡块, 前方用斜面压板紧固螺栓。如图 3-24 所示为 16000kN 热模锻压力机用的两工位、四顶出器、矩形模块和斜面压板式模架。模块

1 和模板 5 之间装有淬火垫板 2, 其作用是防止模板的支承面被压出凹痕。模块与后挡板 6、斜面压板 4 靠紧的前后端面, 都做成斜度为 $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的斜面, 斜面压板 4 的弯头斜楔与模板的斜面槽配合 (斜度为 $7^{\circ} \sim 15^{\circ}$), 当螺钉 3 拧紧时, 模块上即被压紧。侧墙板 7 和螺钉 8 用于模块的侧向紧固和调整。上下模板分别用螺栓紧固在压力机的滑块和台面上。下模架还必须能作水平方向的紧固和调整, 一般前后方向调整依靠台面上的螺钉, 左右方向则用螺钉或斜楔来调整, 这应根据压力机台面的结构而定。采用斜楔时, 下模板的左右两侧应制成 $1^{\circ}47'$ 的斜面。

如图 3-25 所示为圆形模块用的斜面压板式模架。圆形模块可用符合模块外径和模块凹槽直径的后挡板和压板紧固, 此种模块应配有键槽, 用键防止模块转动。其结构原理与矩形模块用的斜面压板式模架相同, 但为了保证坚固可靠, 模块及压板斜面必须有较高的精度。这种模架上的模块在水平方向上调整困难。

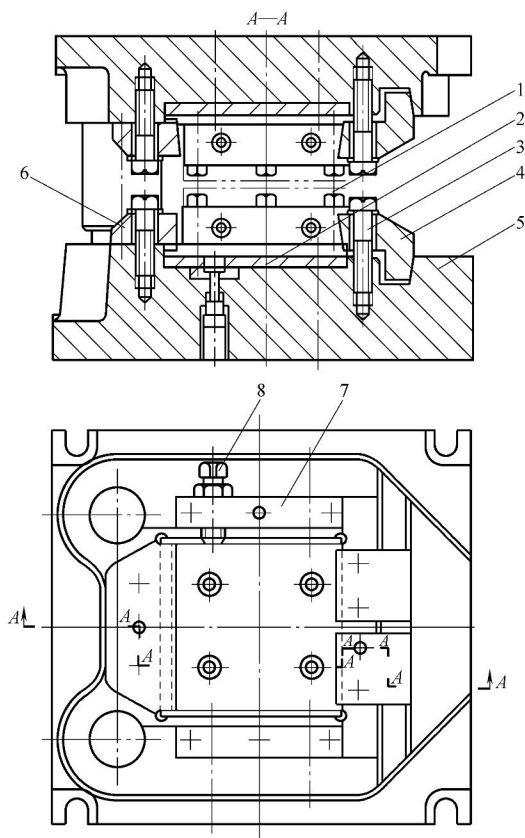


图 3-24 矩形模块用斜面压板式模架

1—模块 2—垫板 3、8—螺钉 4—斜面压板
5—下模板 6—后挡板 7—侧墙板

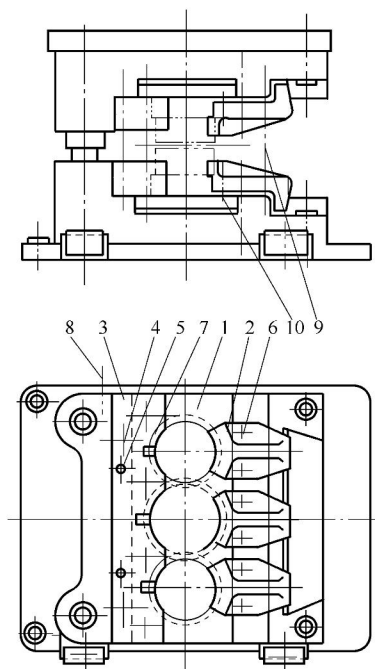


图 3-25 圆形模块用的斜面压板式模架

1—下模板 2—前斜面压板 3—后挡板
4、6、8、9—螺钉 5—销钉 7—键 10—垫板

2) 键式模架。矩形模块模的底部亦可开十字形布置的键槽,用键固定位置,用轻型压板压紧。这种模架的特点在于取消了压板式模架上的后挡块、斜面压板、侧向压紧以及模板上的凹槽,模块放在垫板上,垫板放在模板上,模块、垫板、模板之间都用十字形布置的键进行前后左右方向的定位和调整,模块的上下方向用轻巧的压板压紧。如图 3-26 所示为 20000kN 热模锻压力机用的两工位、两顶出器键式模架结构。

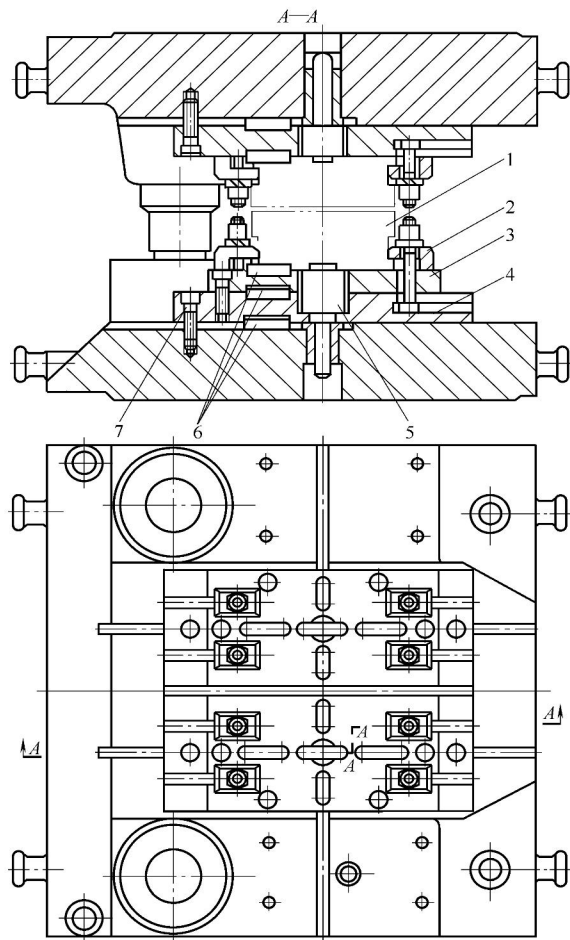


图 3-26 定位键式模架

1—模块 2—压板 3—中间垫板 4—底层垫板 5—顶料杆 6—定位键 7—螺钉

底层垫板 4 用螺钉 7 紧固在上下模板上,模块 1 直接用压板 2 压紧在底层垫板上。模块翻新后即加一块中间垫板 3,垫板制成各种不同的厚度,以便更换。这样

模块可以翻新两次。模块、各层垫板、模板之间都用长短两组十字形布置的导向键 6 定位,需要在水平方向调整模块时,就换用不同规格的偏头键 5。导向键和偏头键都是成组制造的标准件。定位柱 8 用于上模板的定位。下模板在水平方向用螺钉紧固。

键式模架的主要优点是:通用性很高,一副模架可以适应各种不同尺寸的锻件及不同形状(圆形成矩形)的模块。模块的装拆和调整都很轻便,可以快速更换,也可以快速翻新。但是,垫板和键等零件加工精度要求较高,模块紧固的刚性较差。

模架的形式由型槽模块的数量与形状以及其紧固的方法决定,目前应用较多的是斜面压板式模架。除上述两类模架外,还可以按工艺要求设计其他形式的模架。

(2) 模架主要组成

1) 顶出机构。老式结构的热模锻压力机,设备中一般只配备上、下顶杆各一个。对于多型槽模锻的锻件,有几个工步都需要顶杆时,由于顶杆结构复杂,其制造、维修、更换都不太方便。只有一个顶杆的设计,如果每个模锻工步位置上都需要独立设置顶杆的话,可以在模架中采用杠杆式顶出装置,将压力机顶杆动作均匀地分配、传递到各个模锻工步所需位置上,顶出装置行程一般为 5~20mm。新结构的热模锻压力机,设备布置有 3~4 个顶杆。每一个模锻工步位置上都有单独顶杆,这样的顶杆结构简单,制造、维修、更换都比较方便。

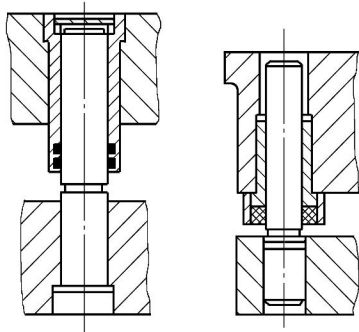


图 3-27 导柱导套

2) 导柱导套。热模锻压力机上的模架上一般都设有导向装置,采用并立于模座后侧的双导向装置,如图 3-24、图 3-25、图 3-26 所示,以保证模锻时不存在水平方向的错移。

导柱长度应保证压力机滑块在上死点位置时,导柱不脱离导套;在下死点位置时,导柱不碰封盖。导柱与导套间隙一般为 0.25~0.40mm,并设有润滑装置。导套下端装设护罩刮板结构,以防止锻模中掉下的氧化皮侵入导向套筒(见图 3-27)。

(3) 模架高度尺寸

$$H_{\text{模架}} = 2(h_{\text{模板}} + h_{\text{垫板}} + h_{\text{锻模}}) + h_{\text{间隙}}$$

式中 $H_{\text{模架}}$ ——模架闭合高度 (mm);

$h_{\text{模板}}$ ——上、下模板高度 (mm);

- $h_{\text{垫板}}$ ——上、下垫板高度，如表 3-9 所示（mm）；
- $h_{\text{锻模}}$ ——上、下锻模实际高度（mm）；
- $h_{\text{间隙}}$ ——上、下锻模之间间隙（mm）。

模板高度 $h_{\text{模板}}$ （即厚度）在可能的情况下尽量选取大值，以容纳有足够使用行程的顶出装置，并保证模板在各个方向有足够的强度，使导向装置有足够的稳定性。

$$H_{\text{模架}} = H_{\text{max}} - 5$$

式中 H_{max} ——热模锻压力机最大封闭高度（mm）。

表 3-9 垫板高度

热模锻压力机公称压力/kN	< 10000	16000	20000 ~ 25000	31500 ~ 40000	63000 ~ 80000	120000
垫板高度/mm	30 ~ 40	35 ~ 50	45 ~ 60	50 ~ 70	60 ~ 80	70 ~ 100

模架在平面图上的尺寸应能满足安放全部型槽模块与其紧固件以及顶出机构和导向套筒的要求，同时还应与压力机安模空间的规格相适应。

2. 模块

(1) 模块类型 模块分为矩形（或方形）和圆形两种。

矩形模块适用于任何形状的锻件，而圆形模块仅适用于锻粗类锻件；矩形模块调整错移方便，而圆形模块可以节省模具钢、加工方便。因此，在选用这两种形状的模块时，可根据锻件要求和具体情况来定。

斜面压板式模架与定位键式模架用的模块外形有较大的差别。用于前者的模块，其侧面制成 $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的斜面，以便与斜面压板相配合（见图 3-28）；用于后者的模块，其侧面制成 $5 \sim 10\text{mm}$ 的凸肩，供压板压紧用（见图 3-29）。对于圆形模块，在模块侧面或底面开有防止模块旋转的键槽。

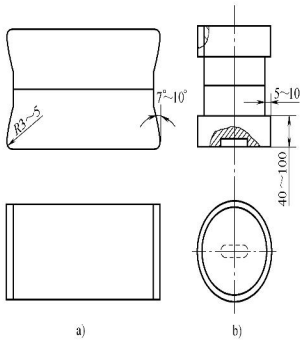


图 3-28 斜面压板式模架用模块外形

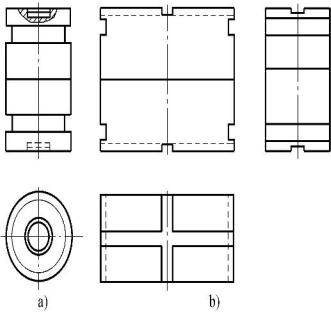


图 3-29 定位键式模架用模块外形

(2) 模块尺寸

1) 模块平面尺寸

尽管热模锻压力机锻模时上下模不打靠，但是并不意味着锻造时锻模不受力，因而应按热模锻压力机锻模的承压应力计算、确定锻模承压面积。对于正常进行锻造生产，防止锻模损坏有非常重要的意义。

模块的尺寸取决于型槽尺寸和模壁厚度。模壁厚度按下式确定：

$$t = (1.0 \sim 1.5)h \geq 40\text{mm}$$

式中 t ——模壁厚度；

h ——型槽最宽处的深度（见图 3-30）。

模块底面距型槽最深处的距离 s 不得小于 $(0.60 \sim 0.65)h$ 。

根据上述条件，可以初步计算出模块的平面尺寸和平面面积。

锻模承压力计算及校核：

$$\sigma = F/A$$

式中 σ ——模块底部承受的单位面积压力（MPa）；

F ——设备公称压力（N）；

A ——模块底面实际承压面积（ mm^2 ），实际承压面积为模块底面面积减去顶杆孔、键槽等不承受压力部分的面积。

σ 的数值应小于或等于 350MPa，当大于这一数值时，应改变模块尺寸，增大承压面积。通常 σ 值在 300MPa 为好。

2) 模块高度

确定模块高度 $h_{\text{锻模}}$ 时，应留有翻新模块的余量，但注意保证在上下模块封闭时满足锻模封闭高度的条件：

$$h_{\text{锻模}} = H_{\min} + 0.65a$$

式中 $H_{\min}$ ——热模锻压力机最小封闭高度（mm）；

a ——热模锻压力机最大调节量（mm）。

(3) 顶出器

模块里设有顶出器，它在模架中的顶出装置推动下将锻件顶出。

一般情况下，顶出杆可以顶在飞边上，见图 3-31a。当锻件有直径较大的冲孔连皮时，则应顶在连皮上，见图 3-31b。如果必须顶在锻件上，则应尽可能顶在锻件的加工表面上，此时顶出杆装配前应留有凸出模槽 0.3~0.5mm 的余量，装配后磨平，以免锻件上压出凹痕，见图 3-31c、d、e、f。对于两头都有深型槽的长形锻件，应该用前后两小顶出器，图 3-31c。如果连皮直径较小，则模块中冲孔的冲头

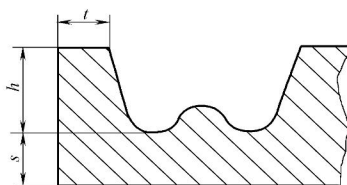


图 3-30 模块高度方向尺寸及壁厚

必将因中心打孔而过分削弱, 很容易损坏。如果冲孔深度不太大, 则可用图 3-30e、f 所示的顶出器。

顶出器的顶杆直径一般为 $10 \sim 30\text{mm}$, 在设计时应尽可能粗一些, 否则容易歪曲变形。模块上应有足够长度的导向部分, 模块和顶出杆之间留出 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 的间隙。顶杆布置在加工面上时, 应注意不影响加工定位。

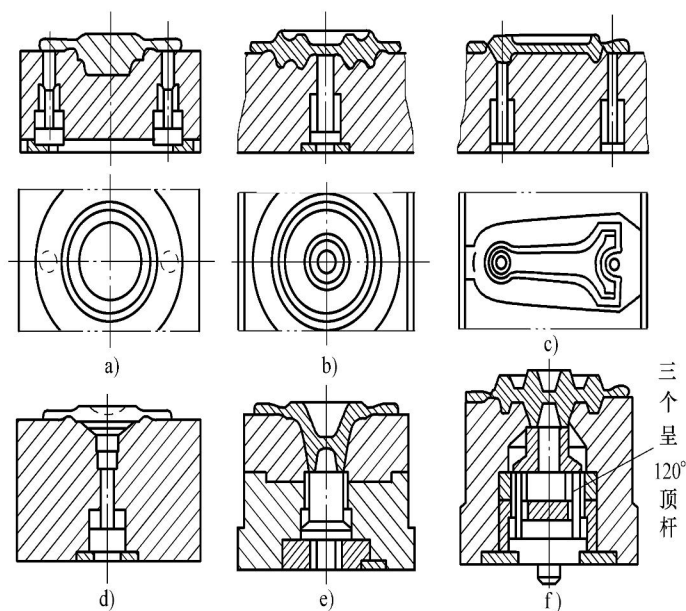


图 3-31 顶出器形式

a) 顶飞边 b) 顶连皮 c) 顶锻件本体和飞边 d、e、f) 顶锻件本体

(4) 排气孔

热模锻压力机上模锻与锤上模锻不同, 锤上模锻时, 金属在每一型槽内的变形是在锤头的多次打击下完成的; 而热模锻压力机上模锻时, 金属是在滑块的一次行程中完成变形。若型槽有深腔, 聚积在深腔内的空气受到压缩, 无法溢出而产生很大压力, 从而阻止金属向型槽的深腔处充填。所以, 在型槽深腔金属最后充填处应开设排气孔, 如图 3-32 所示为排气孔设计的正确与不正确的示例。

排气孔直径不大于 $\phi 2\text{mm}$, 深度为 $5 \sim 15\text{mm}$, 其下端则扩大为 $\phi 4 \sim 5\text{mm}$, 以简化制造工艺。当型槽底部有顶件器或其他能排气的缝隙时, 则可不另开排气孔。

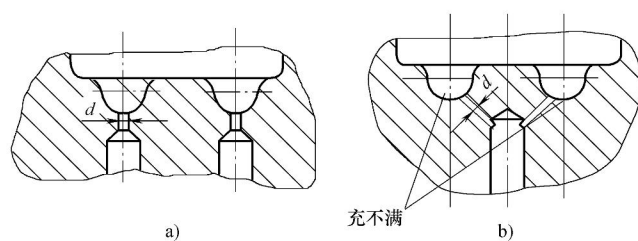


图 3-32 型槽排气孔

a) 正确 b) 不正确

第 4 章 摩擦压力机上模锻

摩擦压力机是最早使用的模锻设备，在模锻生产中的工艺用途较多。它不仅可以用于模锻（包括局部锻、温或热挤压等），还可以用于切边、弯曲、冷校正、热校正和精压等工序，是中小型工厂普遍使用的一种锻压设备。

4.1 摩擦压力机及其锻造工艺特点

摩擦压力机属于螺旋压力机的一种，是以摩擦方式进行动力传递的螺旋压力机。其工作时的打击性质近似于锤，而传动、滑块速度等又近似于压力机，故而又称为摩擦压力锤。摩擦压力机是利用飞轮积蓄能量，并在模锻时释放出来，从而获得很大的锻压力。摩擦压力机一般适用于中、小批生产的车间模锻各种形状的锻件。

摩擦压力机主要由床身、滑块部分（工作部分）、传动系统、操控系统和附属装置等组成。摩擦压力机外形及工作原理见图 4-1，摩擦压力机结构见图 4-2。

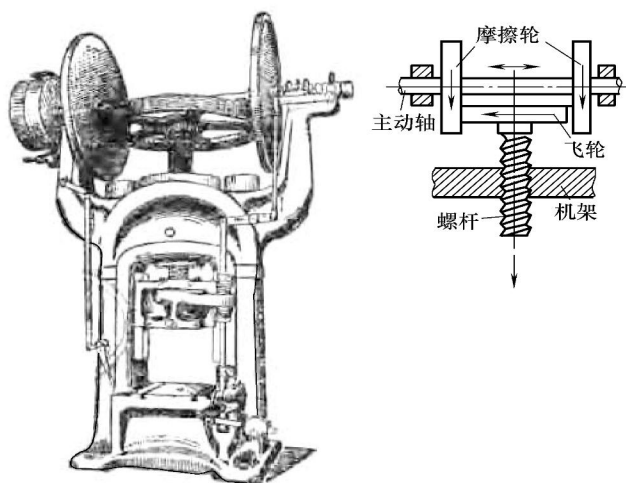


图 4-1 摩擦压力机外形及工作原理

摩擦压力机有单盘式、双盘式和三圆盘式等形式，最常用的是双盘式摩擦压力机，而单盘式和三圆盘式摩擦压力机应用较少。

国产摩擦压力机规格及技术参数见表 4-1。

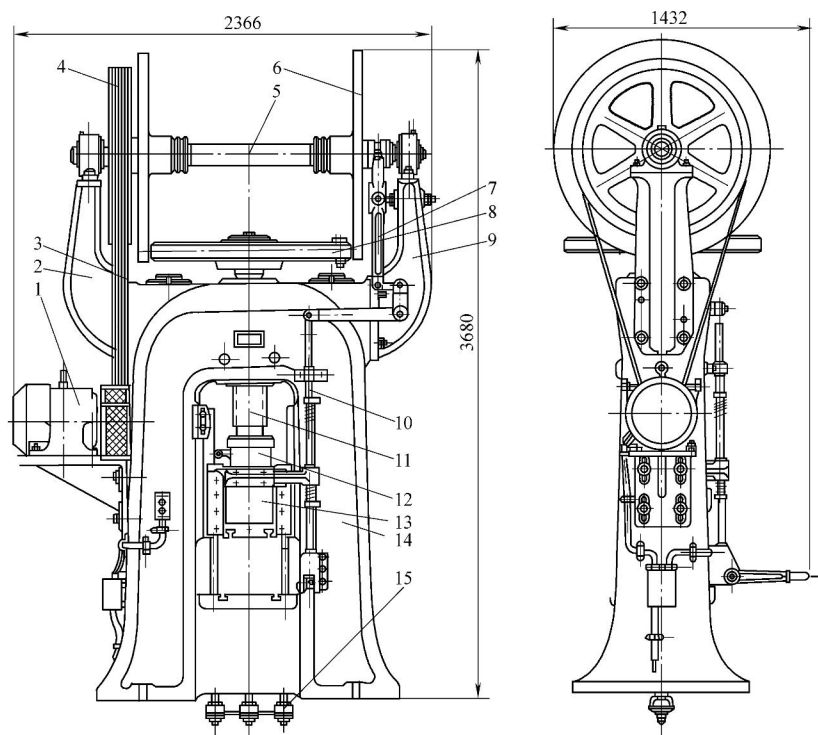


图 4-2 摩擦压力机结构

- 1—电动机 2—支架 3—传动带 4—带轮 5—横轴
6—摩擦盘 7—拨叉 8—飞轮 9—支架 10—杠杆
11—螺杆 12—刹车装置 13—滑块 14—机身 15—顶出装置

(1) 摩擦压力机的优点

1) 工艺性能广。摩擦压力机具有模锻锤和热模锻压力机的双重工作特性，略带冲击性，金属变形经常要经过二、三次打击才能完成，并能满足各种主要锻压工序的性能要求。摩擦压力机有不定行程及顶出装置，很适合精密模锻和长杆类的锻锻，同时能挤压成形，所以，它工艺性能较广，可进行模锻、冲压、锻锻、挤压、精压、切边、弯曲、校正等工作。

2) 锻件精度高。摩擦压力机的行程不固定，锻件精度不受自身弹性变形的影响，同时，摩擦压力机上一般装有以下顶出器，又可采用特殊结构的组合模，从而减小或消除锻件上的模锻斜度和余块；尤其配上无氧化加热设备，可得到精密模锻制件。

表 4-1 国产摩擦压力机规格及技术参数

型号	JK53-40	J53-53A	JK53-100A	JK53-160A	J53-160B	JK53-300A GJ53-300	J53-400	JB53-400	J53-630	JB53-630	J53-1000	JB53-1000	J53-1600	JB53-1600	J53-2500
公称压力/kN	400	630	1000	1600	1600	3000	4000	4000	6300	6300	10000	10000	16000	16000	25000
能量/kJ	1	2.5	5	10	19	20	40	36	80	72	160	140	280	280	500
滑块行程/mm	180	270	310	360	350	400	500	400	600	400	700	500	700	600	800
行程次数/ (次/min)	40	22	19	17	17	15/22	14	20	11	20	10	17	10	15	9
封闭高度/mm	280	270	320	380	260	300	520	530	650	630	700	710	750	800	980
垫板厚度/mm	80	80	100	120	—	—	—	150	—	180	—	200	—	9	—
工作台尺寸 (长×宽)/mm	300×500	450×400	500×450	560×510	560×510	650×570	820×730	750×630	920×820	900×750	1200×1000	1120×900	1250×1100	1280×1000	1600×1200
导轨间距/mm	300	350	400	460	—	560	—	650	—	766	—	915	—	1030	—
电动机功率 /kW	Y10012-4 3	Y132M1-6 4	Y160M1-5 7.5	Y160L-6 11	10	Y200L2-6 Y200L-4 22/30	30	Y160L-4 Y180L-6 15/15	55	JH02-81-6 JH02-71-4 30/22	75	JH02-82-6 JH02-72-4 40/30	130	JS-116-8 JQ02-91-6 70/55	230
外形尺寸 (长×宽×高) /mm	1050× 960× 2313	1538× 1105× 2840	1884× 1393× 3375	2043× 1425× 3695	1465× 2240× 3730	2581× 1603× 4345	1890× 2812× 5115	3020× 2750× 4612	5000× 4320× 6060	4340× 3300× 5447	6000× 5670× 7250	5050× 4300× 7250	5850× 5750× 8260	4950× 3850× 7700	4847× 6797× 9560
总重/t	1.86	3.2	5.6	8.5	8.8	13.5	16.6	17.5	39.3	50	67	70	85	94	155

3) 可以采用整体式和组合式两种模具。特别是组合模具, 可根据设备吨位和锻件种类设计和制造出系列化通用模架。不同大小的锻件, 只需更换凸、凹模镶块, 就可简化设计和制造过程, 缩短周期, 节省模具钢, 降低成本。

4) 使用和维修方便。设备结构简单、紧凑、价格较低, 振动小、基础简单、没有砧座, 因而大大减少了设备和厂房的投资, 劳动条件较好, 操作安全, 容易维护。

(2) 摩擦压力机的缺点

1) 摩擦压力机的螺杆和滑块间是非刚性连接, 滑块承受偏心载荷的能力差, 不适合多型槽模锻。

2) 摩擦压力机行程速度较慢, 每分钟行程次数少、打击速度低, 所以生产率不高, 并对有高肋或尖角的锻件较难充满, 不宜用于多型槽模锻。

3) 打击力不易调节, 不宜用于拔长类制坯工序。

4) 锻件的表面质量较差, 尤其是加温设备较差的情况下, 这种缺陷尤其严重。

5) 模具的寿命较短。摩擦压力机滑块的锤击速度较慢, 锻件在型槽里停留时间较长, 以致锻模的使用条件较差, 容易发生磨损及型槽的边缘开裂等毛病。另外, 在摩擦压力机上为无钳口模锻, 常用起子将锻件从型槽里剔出来, 其使用寿命一般为蒸汽—空气模锻锤上锻模的 $1/2$ 左右。

6) 在制品增加, 生产周期延长。毛坯工序一般都在自由锻锤上进行, 而常常在完成毛坯工序以后, 不能连续进行下道工序而中途停顿起来, 容易出现在制品的增加, 锻件运输及管理上的麻烦, 以致延长生产周期。

7) 需要自由锻锤及相应的加热设备帮助摩擦压力机做毛坯工序工作, 扩大了车间的生产面积。

8) 摩擦压力机由于摩擦损失大、效率低, 不适合制造大吨位的设备。

由于上述原因, 摩擦压力机近年来基本上没有发展。近年来所研制的新型液压螺旋压力机, 采用加长滑块或附带导轨的象鼻滑块, 提高了导向精度, 也增强了承受偏载的能力。

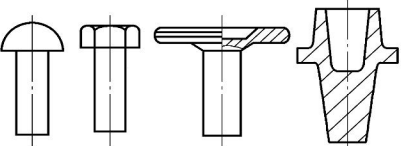
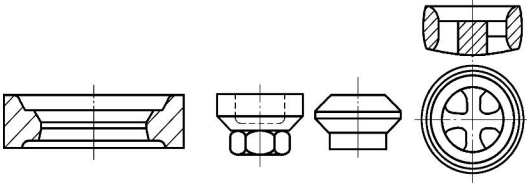
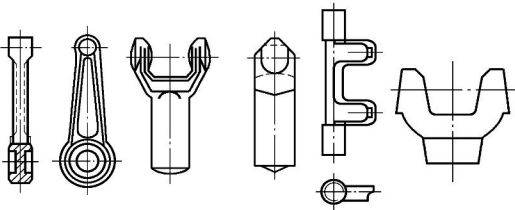
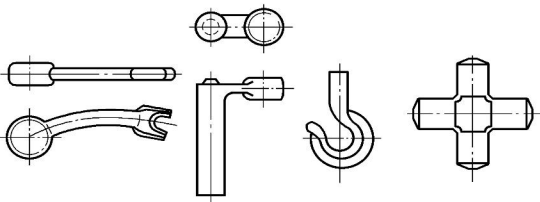
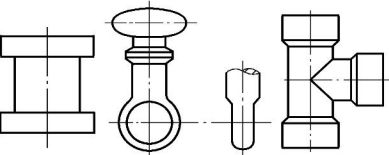
4.2 摩擦压力机模锻工艺选择

4.2.1 锻件分类和锻件图的设计

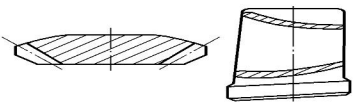
1. 锻件分类

摩擦压力机锻件分类见表 4-2。

表 4-2 摩擦压力机锻件分类

		锻 件 简 图	说 明
第 I 类	顶锻类锻件		1) 头部局部锻粗成形,杆部不变形 2) 多用开式模具进行小飞边模锻
	杯盘类锻件		1) 整体锻粗、挤压成形 2) 多采用闭式模具,进行无飞边模锻
第 II 类	长轴枝叉类锻件		1) 相当于锤上模锻的长轴类锻件,又可分为直线主轴、弯轴、叉杆及带枝芽、十字轴类锻件 2) 采用开式模具,进行有飞边模锻
	长轴弯曲类锻件		
第 III 类	用组合凹模锻出的在两个方向有凹坑的锻件		采用组合凹模,可得到在两个方向上有凹坑、凹挡的锻件,如法兰、三通阀体等

(续)

		锻件简图	说 明
第Ⅳ类	精密锻件		是少无屑加工工艺在螺旋压力机上的应用

第Ⅰ类——杆型带有粗头的中小锻件（属于此类锻件的有螺栓和铆钉等）及杯状、罩盖状等圆形小锻件，非常适合在摩擦压力机上进行模锻。如大量生产的各种螺钉、发动机上的进排气门等，常常利用摩擦压力机进行模锻。

第Ⅱ类——形状较为复杂的小锻件，这些小锻件一般在模锻上只用一个型槽的模具进行模锻，或者用除终锻型槽外还有卡压或成形型槽的模具进行模锻。不仅是连杆、曲轴、齿轮、拖钩、拉臂等锻件，凡是蒸汽—空气模锻锤能生产的锻件，同样可利用摩擦压力机及配备的其他设备模锻生产出来。这些锻件与类似的锤上模锻件的区别在于：它们不应有很薄的肋或其他不易充满的形状，因为在摩擦压力机上型槽空腔壳满的情况较差。

第Ⅲ类——带有法兰盘、枝芽及不通孔的小型锻件，该类锻件腰部有两个方向的凸起或凹腔，锻件需要有两个及三个分型面。为了保证锻件能从型槽中取出，凹模必须是可拼的组合凹模。属于这一类的有管道上的阀体、三通等配件及类似这种形状的其他锻件，常常可以利用组合锻模以及摩擦压力机的顶出装置，生产时比一般锻压设备更为方便。

第Ⅳ类——精密模锻由于采用的体积较精确，因此小飞边模锻和闭式模锻应用较多。用精密模锻生产的直齿圆锥齿轮齿形不需再进行机械加工。精锻叶片轮廓尺寸精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，厚度尺寸精度可达 $\pm 0.06\text{mm}$ ，表面粗糙度值 R_a 可达 $0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$ 。旋转体零件（如齿轮、轴承等）最适合精密模锻。

2. 锻件图的设计

摩擦压力机上模锻件图的设计方法与锤上模锻相同，其差别主要在于这些参数值的大小。这里仅将其区别于模锻锤上锻件图设计的特点说明如下：

（1）确定分型面的位置 对于有飞边的锻件，分型面的选择与锤上模锻相同；对于无飞边的模锻件，分型面一般选在最大断面的端面上。表 4-3 为同一锻件在采用有飞边和无飞边模锻两种工艺时的分型面位置。

表 4-3 分型面选择

模锻工艺	模锻件的类型					备 注
	1	2	3	4	5	
有飞边模锻						一般选在 对称轴线上
无飞边模锻						一般选在 最大截面的 端部

由于摩擦压力机带有顶杆装置，可顶出锻件或凹模，所以，根据锻件形状的不同，分型面的数目有一个或多个。对于第Ⅰ类和第Ⅲ类锻件，可用组合凹模；同时，第Ⅰ类和第Ⅲ类锻件多采用无飞边或小飞边模锻，上下模的分型面位置基本固定，一般设在金属最后充满的地方。对于第Ⅱ类锻件，其分型面的选定原则和锤上基本相同。但是，由于摩擦压力机上开式模锻多为无钳口模锻，当不采用顶杆装置时，更应特别注意减少型槽深度方向的尺寸，以便于锻件出模。

(2) 确定机械加工余量和公差 摩擦压力机模锻件的加工余量和公差可按锤上模锻件的余量和公差选择，对于形状较复杂、需锻两次火的锻件，余量可以适当加大。如果氧化皮特别严重时，可适当增加公称尺寸。

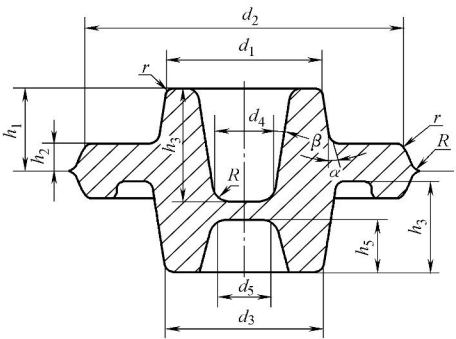
在一些旧的参考资料中，把摩擦压力机上模锻件的余量和公差定得比吨位相当的模锻锤上锻件的余量和公差要大一些，其原因有二：一是由于摩擦压力机上模锻多为无钳口单型槽模锻，坯料放入型槽前其表面氧化皮未除净，模锻过程中也不易从型槽中吹去氧化皮，所以锻件表面粗糙度值比锤上模锻高；二是复杂锻件要加工两次火以上才能锻成，所以氧化皮厚，脱碳层深。其实，现在一般工厂都可通过改善加热方法来减少坯料的氧化：将摩擦压力机之间或和其他模锻设备组成模锻生产线，以减少复杂锻件的加热火次。

对于局部锻粗件，固杆部不变形，可参考相关的平锻机模锻余量公差表（见本书第 5 章）。

对于无飞边模锻件，高度方向的余量和公差一般较有飞边的大。

(3) 确定斜度 摩擦压力机模锻斜度的大小，主要取决于有无顶杆装置，同时也受锻件尺寸之比（ h/d 、 h/b 、 $\cdots$ ）和材料种类的影响，见表 4-4。

表 4-4 模 锻 斜 度

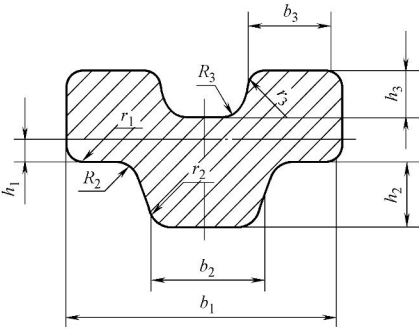


斜度种类 材质 有无 顶杆 高度与直径(宽度)之比	外模锻斜度 α				内模锻斜度 β			
	有色金属		钢		有色金属		钢	
	有	无	有	无	有	无	有	无
	有	无	有	无	有	无	有	无
<1	0°30'	1°30'	1°	3°	1°	1°30'	1°30'	5°
1~2	1°	3°	1°30'	5°	1°30'	3°	3°	7°
2~4	1°30'	5°	3°	7°	2°	5°	5°	10°
>4	3°	7°	5°	10°	3°	7°	7°	12°

注：高度与直径（宽度）之比，即图中 h_1/d_1 、 h_2/d_2 、 h_3/d_3 、 h_4/d_4 、 h_5/d_5 等。

（4）圆角半径 摩擦压力机模锻件圆角半径（ r 、 R ）主要取决于锻件材料和锻件尺寸，见表 4-5。

表 4-5 圆 角 半 径 （单位：mm）

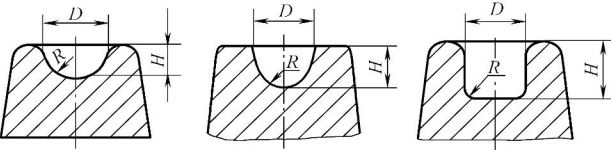


(续)

高度 h	内圆角半径 R		外圆角半径 r	
	钢	有色金属	钢	有色金属
< 10	1 ~ 1.5	1	1 ~ 1.5	1.5
10 ~ 15	2	1.5	1.5	1.5
15 ~ 20	2.5	1.5 ~ 2.0	2	1.5
20 ~ 30	2.5 ~ 3	2.5	2 ~ 2.5	2
30 ~ 40	3 ~ 5	2.5	2.5 ~ 3.5	2
> 40	> 5	> 3.0	> 3.5	> 2

(5) 冲孔连皮 摩擦压力机上锻带有通孔的模锻件，其冲孔连皮形式可参照锤上模锻。对于有不通孔的锻件，孔的尺寸可按表 4-6 确定。

表 4-6 冲 孔 连 皮 (单位：mm)



D		H	R
钢	有色金属		
< 20	< 10	$1/2D$	$1/2D$
20 ~ 50	10 ~ 40	$2/3D$	$1/2D$
> 50	> 40	$< D$	$< 1/5D$

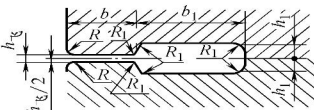
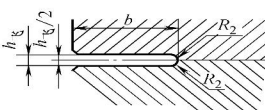
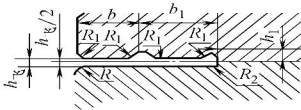
4.2.2 开式锻模设计

摩擦压力机上开式模锻锻模设计的基本原则和设计过程与锤上模锻的相似。

1. 飞边槽形式

在摩擦压力机上进行开式模锻时，其飞边槽的形式基本上与锤上模锻相同，只是飞边仓部 (b_1) 可比锤上模锻小些。飞边槽尺寸可按设备公称压力确定，如表 4-7 所示。形式 I 可用于任何锻件；形式 II 用于小飞边模锻件或有预锻及预切边锻件的终锻模；形式 III 用于型槽深、局部成形不容易的锻件。

表 4-7 按摩擦压力机公称压力确定飞边槽尺寸 (单位: mm)

							
设备公称压力/kN	h_1	h_2	R	b	b_1	R_1	R_2
<1600	4	1.5	1.5	8	16	4	0.8
2500	4	2	2	10	18	4	1
4000	5	2.5	2.5	10	20	5	1.3
600 ~ 1000	6	3	3	12	22	6	1.5
>1000	7	3.5	3.5	14	24	7	1.8

2. 型槽布置

由于摩擦压力机每分钟行程次数少, 金属降温大, 螺杆对偏载敏感, 一般只进行单型槽模锻。当采用预锻型槽时, 型槽中心应不超出螺杆直径。型槽在模块上的布置应尽量减少和避免偏心打击, 同时要使操作方便, 即使整个操作路线最短。具体设计时必须遵循以下原则;

- 1) 当只有终锻型槽时, 型槽中心要与模块中心和螺杆中心重合。
- 2) 当同时有预锻型槽和终锻型槽时, 两个型槽分置螺杆中心线两侧。两型槽中心线至螺杆中心线的距离之和及两距离之比分别为

$$a + b \leq D/2; a/b = 1/2$$

其中 D 为螺杆螺纹的直径, 见图 4-3。

3) 因摩擦压力机行程速度慢, 模具受力条件较好, 所以锻模模块的承击面一般可取为锤锻用模的 1/3。

4) 摩擦压力机一般都备有下顶出器, 而无上顶料装置, 所以, 宜将锻件形状比较复杂的型槽置于下模。

5) 对于型槽比较深、形状比较复杂的部位应

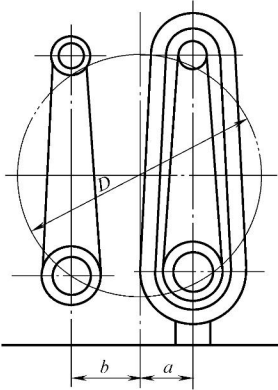


图 4-3 终锻及预锻型槽布置

开排气孔，有利于金属充满型槽。

3. 模壁厚度的确定

模壁厚度可根据型槽深度 h 、圆角 t 、半径 R 和模壁斜度来确定。

型槽最小外壁厚度 t_0 （见图 4-4a）可根据下式确定：

$$t_0 = K_0 h$$

式中 K_0 ——系数，按表 4-8 选取。

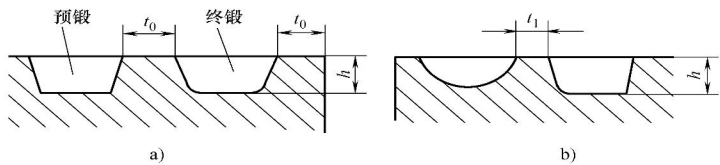


图 4-4 型槽最小外壁厚度
a) 型槽最小外壁厚度 b) 型槽间最小壁厚

表 4-8 K_0 系数选取

型槽深度 h/mm	<20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 55	55 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 120	>120
K_0	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8

型槽间最小壁厚（见图 4-4b）可根据下式确定：

$$t_1 = K_1 h$$

式中 K_1 ——系数，按表 4-9 选取。

表 4-9 K_1 系数选取

型槽深度 h/mm	<30	30 ~ 40	40 ~ 70	70 ~ 100	100 ~ 150
K_1	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8

表 4-8 和表 4-9 的适用范围为 $\alpha \geq 7^\circ$ 、 $R \geq 3\text{mm}$ 。当 $\alpha < 7^\circ$ 、 $R < 3\text{mm}$ 时， K 值适当增大。

4. 开式锻模结构

根据锻件分类和锻造工艺特点，开式模锻结构可分为整体模（见图 4-5a）、镶块模（见图 4-5b）和顶墩模（见图 4-5c）三种形式。

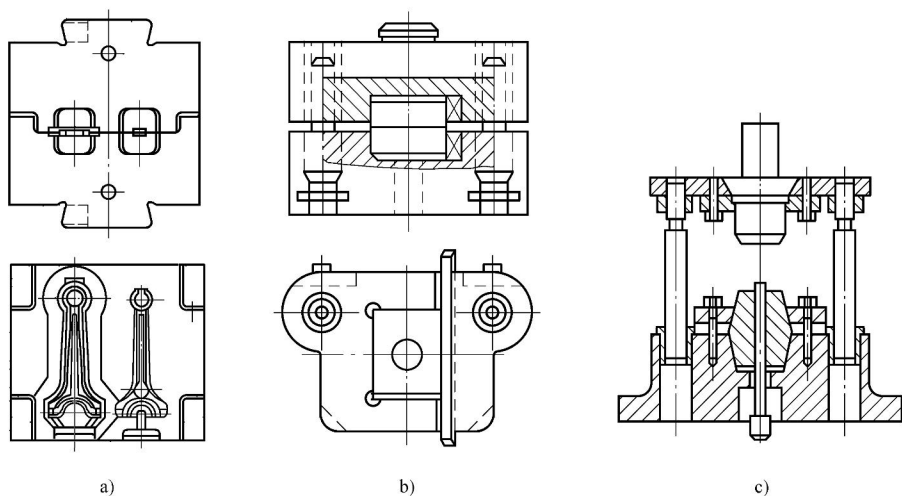


图 4-5 开式锻模结构

a) 整体模 b) 镶块模 c) 顶锻模

4.2.3 自由锻制坯

摩擦压力机锤击速度较慢，行程不能调节，不便于作制坯工序。模锻时，一般稍为复杂的零件，或者横断面积变化较大的锻件，都必须由其他的锻造设备进行制坯工序。摩擦压力机的制（出）坯工序一般在自由锻锤上进行，而模锻工序的预锻、终锻工步是在摩擦压力机上进行的。摩擦压力机的模锻工序生产率比较高，而在自由锻锤上进行锻件出坯工作的生产率比较低，为了不使出坯后出现中途停顿而造成坯料冷却现象，必须配备足够的自由锻锤台数，使得两种设备的生产率取得合理的平衡。

1. 采用胎模锻方法制坯

制坯工序是一般模锻件用时最多的工序，而且也是变化最多的一道工序。摩擦压力机自由锻造中常用工序是拔长、镦粗、弯曲、扭转、冲孔、打扁、放宽等。这些工序常用的简单工具有夹模（又称棒子）、压棍、剁刀、冲头、漏盘等。摩擦压力机充满型槽的能力低于锤上模锻，其模锻前的制坯形状应更接近于锻件形状，因此我们不能完全依靠落后的机器上的自由锻造工艺和一些通用性的简单工具来提高摩擦压力机模锻的生产率，而积极采取各种措施以改进毛坯工序的工艺及提高毛坯工序的效率是一个极其重要的问题。图 4-6 是载重汽车发动机连杆的砧模锻毛坯工序。

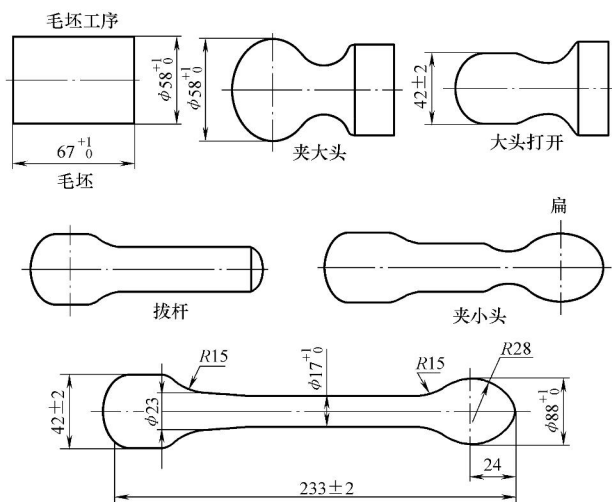


图 4-6 发动机连杆毛坯工步示意图

可参阅胎模锻造的有关资料及书籍。

2. 采用空气锤固定型砧的方法制坯

型砧结构见图 4-7。在型砧上可进行拔长、滚挤、镦粗、打扁、卡压、冲挤、切断、倒角等工步。合理地选用和组合这些工步就能锻出符合要求的毛坯。

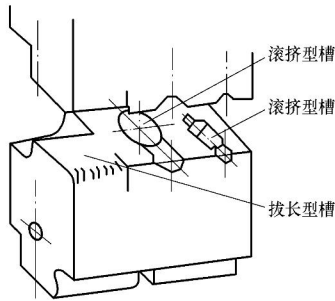


图 4-7 空气锤固定型砧

型砧制坯所采用的空气锤规格见表 4-10。

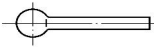
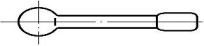
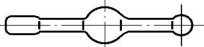
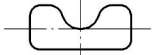
表 4-10 摩擦压力机配套的空气锤规格

摩擦压力机公称压力/kN	1600 ~ 3000	3000 ~ 4000	4000 ~ 6300	6300 ~ 8000	8000 ~ 10000
空气锤吨位/kg	65 ~ 150	150 ~ 250	250 ~ 400	400 ~ 560	560 ~ 750

型砧按型槽结构来分类，可分为型砧和异形型砧两大类。按坯料形状来分类，

可分为六类，见表 4-11。

表 4-11 坯料和型砧分类

型式	序号	类别	简 图	工 艺 方 法
型 砧	1	单球体		滚挤球体—调头拔长
	2	双球体		滚挤球体—调头拔长—滚挤—拔中间杆部
	3	三球体		滚挤中间球体—一端拔长—滚挤—另一端拔长—滚挤—拔杆部
				两球体中心距较近可一次滚挤。方法如同第二类
	4	弯曲轴线		在前三类工艺方法基础上增加弯曲工步
异形 型砧	5	扁平类		拔长—打扁到要求高度—倒圆弧
	6	一般成形类		按坯料形状具体订出

(1) 毛坯图的制订 毛坯图是设计型砧的依据。先按锤上模锻的方法确定计算毛坯图，再按计算毛坯图确定制坯工步及坯料尺寸。

(2) 制坯型槽设计

1) 拔长型槽。如图 4-8a 所示的是限制拔长高度的形式，前端有定位的拔长型槽，适用于较小的坯料。图 4-8b、c、d 所示的是不限制拔长高度的形式，而与砧面同平面的型槽。这类型槽既可作拔长用，又可作打扁台、镦粗台和承击面，选用时视两球体中间距离的大小而定。图 4-8b 用于两球距离较小时，图 4-8c 用于两球体距离较大时，图 4-8d 用于两球体距离较大或单球体杆类锻件。

自由锻锤由于砧面较小，多采用型砧分段滚挤方法拔长。

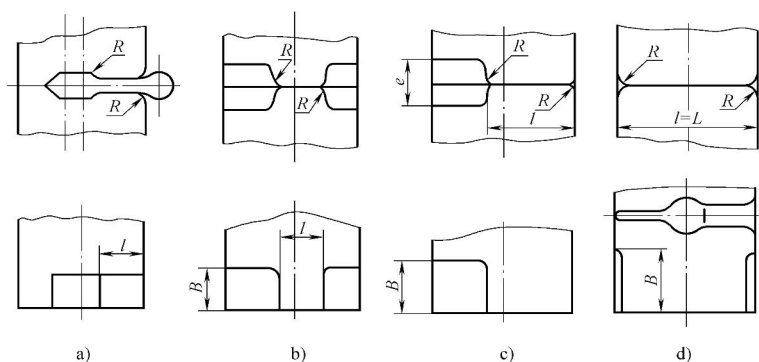


图 4-8 拔长型槽

图 4-8 所示拔长型槽的尺寸, 按下列经验公式确定:

$$l \geq (1/4 \sim 1/3)L$$

式中 l ——拔长型槽的长度, 最大等于 L ;

L ——型砧的宽度 (mm)。

$$B = (1.0 \sim 1.3)D_{\text{坯}}$$

式中 $D_{\text{坯}}$ ——原坯料直径 (mm)。

$$e = d_1 - d_2 + 10\text{mm}$$

式中 d_1 ——毛坯球体最大直径 (mm);

d_2 ——毛坯杆部直径 (mm)。

$$R = (0.2 \sim 0.4)D_{\text{坯}}$$

计算出的 R 值应化整为 5 的倍数, 即 5、10、15、20、25…

拔长工步的操作应参照自由锻造的拔长规则。

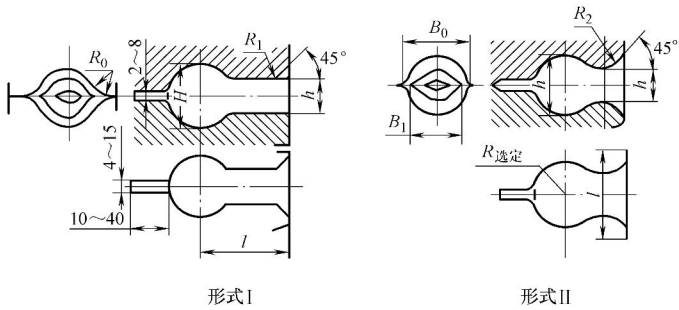
2) 滚挤型槽。型槽各部分尺寸参见表 4-12。

当 $h/H = 0.4 \sim 0.9$ 时, 可以一次滚挤得到球体。当 $h/H < 0.4$ 时, 难以一次滚挤成形, 需适当地放大 h 值或先拔长后滚挤。

表 4-12 中形式 I 所示为最常用的滚挤型槽。这种型槽在卡细部分有一段平直区域, 便于操作时定位和保证球体与杆部较平直, 不歪斜。当 $h/H = 0.55 \sim 0.9$ 时, 一般采用这种形式。表 4-12 中形式 II 是在 $h/H = 0.4 \sim 0.6$ 时采用的。

滚挤操作时, 锤击力应由轻至重, 毛坯在型槽里连续旋转, 逐步成形, 以防坯料表面出现夹层, 折叠等缺陷。

表 4-12 滚挤型槽各部分尺寸 (单位: mm)



基本参数	滚挤型槽	
	形式 I	形式 II
h/H	0.55 ~ 0.9	0.40 ~ 0.60
l	$(1.3 \sim 2.0)H$	$(1.0 \sim 1.3)H$
R_0	$h/2$	—
R_1, R_2	$R_1 = (0.2 \sim 0.4) D_{\text{坯}}$	$R_2 = (0.3 \sim 0.5) D_{\text{坯}}$
B_0	—	$(1.1 \sim 1.2)H$
B_1	—	$(0.8 \sim 1.0)H$

注: $D_{\text{坯}}$ 为原坯料直径 (mm)。

3) 弯曲型槽。要在有限的砧面上布置几个型槽是比较困难的, 因此往往把弯曲工步放在另外的设备上完成。弯曲型槽的设计原则和参数的选择, 可参照锤上模锻弯曲型槽的设计方法进行。

4) 异形型砧设计。异形型砧是在砧面上, 按毛坯图的要求加工出特殊型槽的型砧 (如正方、扁方、六角等), 设计时按具体要求来确定。

3. 型槽的布置及型砧的尺寸

型槽到砧边的壁厚和型槽间壁厚, 一般要求大于 20mm。但当型槽深度较小、内壁斜度较大、斜壁至型槽底部的圆角半径较大、圆角半径大大超过型槽深度时, 壁厚还可以减小, 但最小不得小于 10mm。当制坯型槽较多时, 可以分设在两副型砧上。应把力量较大的滚挤型槽设在型砧面中心位置, 尽可能接近锤杆中心。另外, 安排型槽的次序和位置时, 要考虑操作方便。

用空气锤制坯时, 上型砧的最大砧面要比锤杆横断面积小, 当上型砧进入工作缸时, 每边至少要有 3 ~ 5mm 的间隙; 下型砧水平方向尺寸不受此限制, 但也不宜过大。型砧的高度要比按空气锤设计的平砧高度多 5 ~ 10mm, 型砧一般用修磨或

焊接方法修复，不必翻新制造。

4.2.4 闭式锻模设计

图 4-9 为摩擦压力机上使用的一种较为典型的闭式模锻锻模结构适合用于模锻圆形锻件。设计闭式锻模时，应着重注意凸凹模间的间隙和凸模（冲头）的强度。

1. 凸凹模间隙的确定

该类锻模在冲头和凹模、顶杆和凹模间要能自由地滑动，为此要有适当的间隙。间隙过大，在金属流动时，此处将生成纵向毛刺，加速模具的磨损和造成顶杆顶件困难；间隙过小，因温度的影响和模具的变形，将使冲头和凹模、顶杆和凹模间运动困难。通常，顶杆和凹模间按 H8/f8 动配合形式选用。冲头和凹模间的双边间隙值见表 4-13。

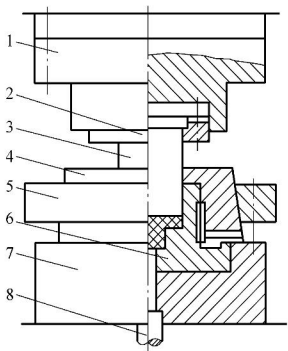


图 4-9 典型的闭式模锻锻模结构

1—上底板 2—冲头固定器 3—冲头 4—凹模外圈
5—压圈 6—凹模芯 7—凹模座 8—顶杆

表 4-13 冲头和凹模间的双边间隙值 (单位：mm)

冲头直径	间 隙 值	冲头直径	间 隙 值
< 20	0.10	40 ~ 60	0.15 ~ 0.20
20 ~ 40	0.10 ~ 0.15	> 60	0.20 ~ 0.30

2. 凸模尺寸的确定

对闭式模锻来说，冲头是锻模的薄弱环节。为避免冲头因产生塑变形而损坏，除操作者应注意调节打击能量外，模具设计还应保证冲头有必要的断面面积，其参考值详见表 4-14。若锻模上已有足够的承击面，则允许冲头的断面面积不受表中数值的限制。

表 4-14 闭式锻模冲头允许的最小断面面积

项 目	摩擦压力机公称压力/kN						
	400	2500	5000	1600	2500	4000	6300
运动部分最大动能/J	1250	2500	5000	10000	20000	40000	80000
滑块最大行程/mm	240	270	310	360	420	500	600

(续)

摩擦压力机公称压力/kN		400	2500	5000	1600	2500	4000	6300
项 目								
冲头允许的 最小断面面积/mm ²	当 $\sigma_p^{①} = 600 \text{ N/mm}^2$ (18CrNiW)	670	1050	1700	2700	4100	6700	10500
	当 $\sigma_p^{①} = 720 \text{ N/mm}^2$ (5CrNiMo, 5CrMnMo)	550	870	1400	2200	3500	5500	880000

① σ_p 为冲头许用应力。

3. 闭式模锻坯料尺寸的确定

1) 闭式模锻的坯料可按表 4-15 选用。

表 4-15 闭式模锻的坯料示例

						$L_{\text{坯}}$—坯料长度 $d_{\text{坯}}$—坯料直径 $D_{\text{锻}}$—被选作毛坯定位处的锻件直径 h—预锻毛坯高度 H—锻件最大高度 $D_{\text{预}}$—预锻毛坯直径
$L_{\text{坯}} \leq 3d_{\text{坯}}$ 通常取 $L_{\text{坯}} = (1.7 \sim 2.3)d_{\text{坯}}$						
$d_{\text{坯}} = D_{\text{锻}}$ — (1 ~ 3) mm	$D_{\text{预}} = D_{\text{锻}}$ — (3 ~ 5) mm	$D_{\text{预}} = D_{\text{锻}}$ — (3 ~ 5) mm	$d_{\text{坯}} = D_{\text{锻}}$ — (1 ~ 2) mm	当 $L_{\text{坯}} > 3d_{\text{坯}}$ 时, 加预锻工步	$d_{\text{坯}} = D_{\text{锻}}$ — (1 ~ 2) mm	

注：计算锻件体积 $V_{\text{锻}}$ 时，若用小飞边锻模，需按飞边槽充满 2/3 的情况考虑，并加在锻件体积上。

2) 在摩擦压力机上闭式模锻，对坯料端面质量要求较严格，一般坯料端面斜度要求小于 5°。

3) 对于坯料重量要求比较严格，一般对重量偏差要求小于 2% ~ 3%。

4) 要求加热后，圆形坯料与型槽内壁间隙应小于 2.5mm。由于闭式模锻圆形锻件时，金属在变形过程中沿圆周方向流动较困难，因此对于大而薄的锻件应进行制坯，并应使坯料外径尽量接近锻件尺寸；对于直径小、厚度大的圆形锻件，可用棒料直接进行模锻。

5) 坯料尺寸与锻件或预锻工步尺寸应满足表 4-15 所述关系。

4. 闭式模锻结构

根据锻件分类和锻造成形特点，开式模锻结构闭式模锻可分为：整体模（见图 4-10a）、拼分模（见图 4-10b）和挤压模（见图 4-10c）。整体模类似锤上模锻；拼分模出模时，靠顶杆直接将拼分模顶出分开。

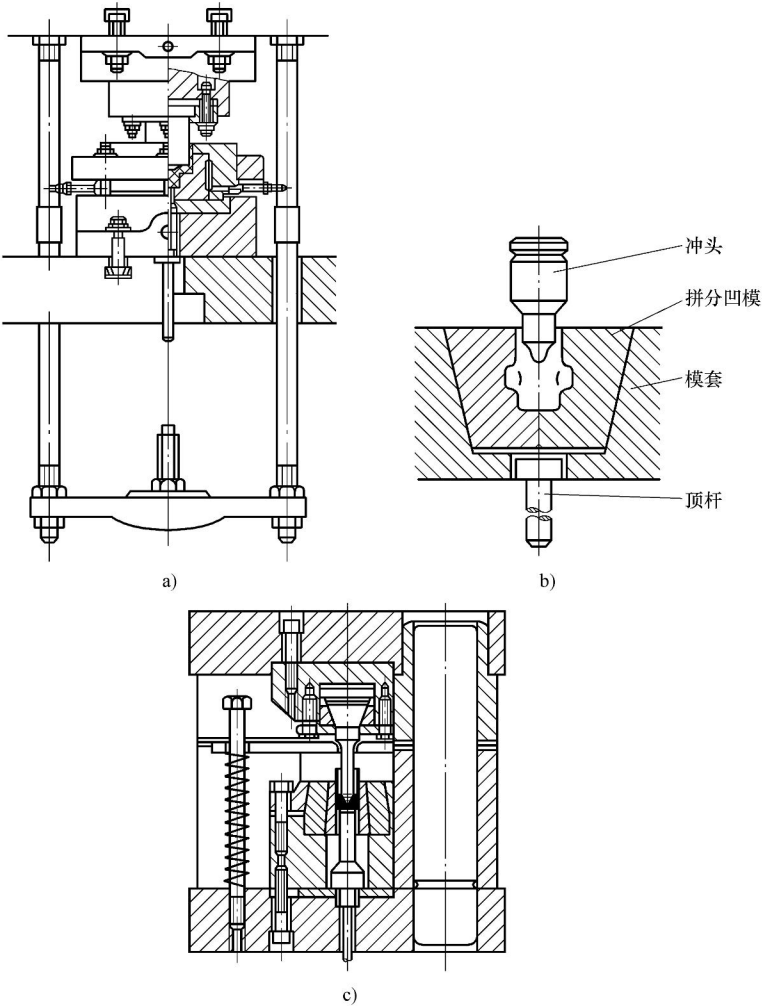


图 4-10 闭式模锻结构

a) 整体模 b) 拼分模 c) 挤压模

4.2.5 精锻模设计

图 4-11 所示为锥齿轮精密模锻锻模结构，以此为例来介绍精锻模的设计要点。

1. 锻件图的确定及型槽设计

精密模锻的关键是使锻件具有准确的几何形状和精确的尺寸（包括相应的表面粗糙度）。因此，在遵循普通模锻锻件图制订及型槽设计基本原则的同时，还有以下要点：

1) 余量和公差的选择。精密锻件的余量通常取为相应零件在普通模锻时的一半或更小。对于一些难于进行机械加工的曲面，如齿轮的齿形面、叶片的叶身弧面等，通常只留 0.3mm 以下的磨削量。精度等级不高的齿轮，其齿形部分甚至可不留加工余量，直接精锻成形到公称尺寸。一般等级的精密锻件的公差按 GB/T 12362—2003《钢质模锻件公差及机械加工余量》普通级公差的一半选用，级别更高的按精密级公差值的一半选取。

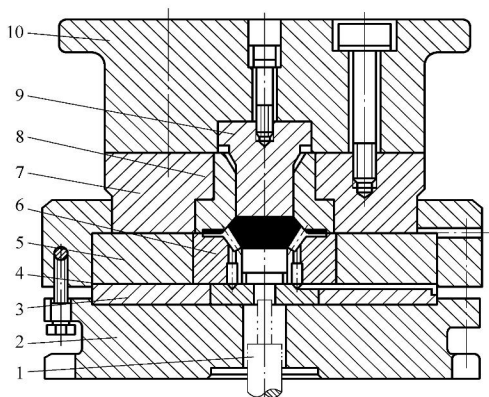


图 4-11 锥齿轮精密模锻的模具图

1—顶杆 2—下底板 3—垫圈 4—压圈

5—凹模圈 6—凹模芯 7—凸模圈

8—凸模内圈 9—凸模芯 10—上底板

2) 采用小飞边或无飞边模锻。

在模锻设备公称压力足够，并在锻件设计时已留有工艺补偿空间以调节料重的波动的情况下，可采用无飞边模锻。若设备公称压力不足或即使足够，但在锻件上无法预留工艺补偿空间时，应采用小飞边模锻。

3) 当锻件各部分有较明显的热胀冷缩不均的现象时，对相应的尺寸或工艺参数应作修改。如锥齿轮精锻齿形的压力角必须小于锻件齿形的压力角（其减小的程度与齿轮的模数大小有关），才能锻出合格锻件，即保证所得锻件的压力角为规定的数值。

4) 尖角部位应开排气孔。齿轮凹模型槽齿形端部的尖角处均应开直径很小的排气孔（见图 4-11），以利于轮齿的端部充满。

5) 型槽磨损公差与锻件材料的关系。在设计和制造时，型槽的公差可这样计算：对于外轮廓分别以其长、宽或外径尺寸乘以表 4-16 中相应的锻件材料系数，将所得数值加在锻件长、宽或外径的正偏差上；按同样方法算得内轮廓磨损公差值，并加在内轮廓对应尺寸的负偏差上。

2. 模具结构的设计与制造要点

1) 为了保证上下模同心，模具上应设有导向装置。常用导向装置有两种形式：一种是环形锁扣，其尺寸按一般锻模的通用规范选取。将锁扣的凸起部分设在下模（见图 4-11）有利于吹掉氧化皮。另一种是采用导柱导套，当压力机精度较

差时，采用导柱导套导向较为有利。

表 4-16 计算型槽磨损公差的材料系数

锻 件 材 料	系数	锻 件 材 料	系数
碳钢	0.0034	难熔合金	0.0101
低合金钢	0.0042	锻铝合金	0.0034
高铬马氏体和低碳高铬铁素体不锈钢耐热钢	0.0050	超硬铝合金	0.0059
镍铬奥氏体不锈钢	0.0059	黄铜	0.0017
耐热合金	0.0067	铜	0.0017
钛合金	0.0076	镁合金	0.0050

2) 为了取出锻件，应备有顶出器。精锻时，顶杆长时间与热锻件接触，为避免因受热膨胀过大或被锻粗而卡死在凹模中。在使用时，常需从模具中取出油冷，故顶杆应能在不拆卸模具的情况下从模具中取出。通常，顶杆与凹模的间隙取 0.1 ~ 0.15mm。

3) 为改善凹模工作时的受力状况，可采用组合凹模结构，其凹模与预应力圈间的径向过盈量取为凹模直径的 0.20% ~ 0.28%。装配时，应力圈加热至 400 ~ 450℃后套进凹模。凹模与应力圈端面应平齐，以保证足够的承击面。

4) 凹模型槽的尺寸精度和表面粗糙度应比锻件尺寸精度和表面粗糙度分别高和低 2 级或 2 级以上。

4.2.6 摩擦压力机公称压力选择

摩擦压力机是靠飞轮储蓄的能量进行模锻的设备。规格相同的摩擦压力机和热模锻压机，其模锻能力是不完全相同的，简单地拿吨位相同的摩擦压力机与热模锻压机相比是不适当的。但人们习惯于用压力机的吨数来表示其规格，这样是不够确切的。通常，将摩擦压力机冷击力的一半定为该摩擦压力机的公称压力，以表示摩擦压力机的规格。

选择摩擦压力机公称压力时，应考虑设备的工艺特点和实际生产条件，最好按 2 ~ 3 次打击成形来选择，如果不能成形时，可增加火次或预切边。

根据实际生产经验，摩擦压力机公称压力选择可按以下方式确定。

1. 普通模锻设备规格选择

摩擦压力机上的模锻力可按以下经验公式计算：

$$F = (17.5 \sim 28)KA$$

式中 A——锻件总变形面积（包括锻件面积、冲孔连皮面积及飞边面积）（cm²）；
K——钢种系数，其值见表 2-14。系数 28 用于变形困难及要求生产率高的条件下，反之则取 17.5。

上式适用于锤击 2 ~ 3 次成形时所需设备规格。如果需一次锤击成形，则应按

计算值增大一倍。

摩擦压力机兼有锤和热模锻压力机的工作特性，靠打击能量使金属产生塑性变形，每次打击所释放出来的能量难以准确控制，且影响锻件变形力和变形量的因素又很多，所以设备每次行程实际提供的能量不可能恰好等于金属塑性变形的需要值。若设备每次打击提供的能量小于锻件塑性变形所需的能量，则出现欠压现象，必须再锻击一次；若锻击每次行程提供的能量大于锻件塑性变形所需的能量，则锻模可以闭合，即打靠，锻件高度方向尺寸合格，但尚有一部分多余的能量被模具和设备的弹性变形所吸收。摩擦压力机有一定的超载能力，模锻最大变形抗力要受设备刚度的限制。选择模锻设备吨位时，必须适应各类设备的上述特性，才能发挥它们的能力顺利进行工作。因此，打击的多余能量不能过大，否则，它将引起动力消耗的增加，机器噪声的增大和模具、设备弹性变形量的增大。

2. 图表法

表 4-17 为根据生产经验统计出的在摩擦压力机上能锻造的最大模锻件的尺寸。

表 4-17 摩擦压力机上模锻件的最大尺寸范围

公称压力/kN			630	1600	2500,3000	8000,10000
项 目						
开式模锻	锻件投影面积 /cm ²	低碳钢	64	80	144	700
		中碳钢	55	64	125	700
		合金钢	40	50	86	500
	锻件直径/mm	低碳钢	90	100	135	300
		中碳钢	80	90	130	300
		合金钢	70	80	105	250
闭式模锻	锻件投影面积 /cm ²	低碳钢	64	105	200	600
		中碳钢	55	90	165	420
		合金钢	40	50	85	370
	锻件直径/mm	低碳钢	90	115	160	270
		中碳钢	80	107	145	230
		合金钢	70	80	105	210

3. 精密模锻设备规格选择

选择精密模锻所需设备公称压力时,首先计算出锻件精密成形所需的变形力 F' ,然后根据变形特点确定设备吨位的大小,即

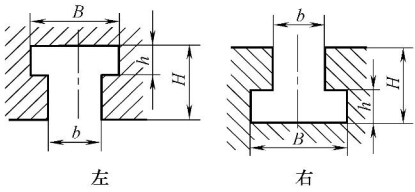
$$F' = KS$$
$$F = \frac{F'}{q} = \frac{KS}{q}$$

式中 F ——公称压力;

力机滑块及工作台垫板的局部压力。模板模座可采用铸钢件,对于较小的模座,也可采用锻件或用钢板焊成。

国产摩擦压力机的主要技术参数见表 4-1,滑块底面及工作台上用于安装模具的 T 形槽的间距和尺寸见表 4-18。

表 4-18 摩擦压力机滑块底面及工作台面上 T 形槽间距和尺寸

序号	公称压力 /kN	T 形槽									
											
		尺寸/mm									
		H	h	B	b	L ₁ ^①	H	h	B	b	L ₂ ^②
1	1600	42	18	40	24	200	48	20	46	28	300
2	3000	48	20	48	28	270	48	20	48	28	290
3	4000	50	20	48	28	320	50	20	48	28	450
4	6300	54	27	62	36	400	54	27	57	36	200 600
5	10000	65	25	65	36	450	65	25	65	36	400 800
6	16000	60	25	60	36	420	55	25	65	36	400 800
7	25000	108	38	90	54	500	108	38	90	54	400 800

① L₁ 为滑块底面两 T 形槽中心线间的距离。
② L₂ 为工作台面上两（四）T 形槽间的距离。

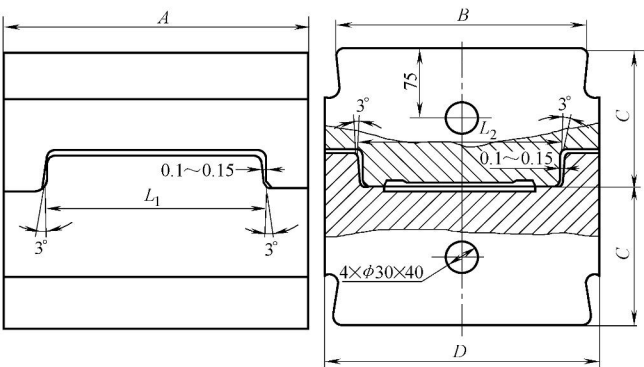
2. 锻模的结构形式

由于摩擦压力机的双重工作特性，因此其模具结构形式可同时采用锤上锻模和热模锻压力机锻模两种结构形式，即整体式和组合式。

(1) 整体式锻模 整体式锻模的型槽、导向和承击面都设在上、下模块上。摩擦压力机上用整体式锻模结构形式和锤锻模相同，锻模的设计步骤和方法也可参考锤上模锻，目前较大公称压力的模具多采用整体式锻模，模块做出燕尾，直接用楔紧固在模座上。较小的矩形模块也可用螺栓紧固。较小的圆形模架，则采用压圈、螺栓紧固在模板或模座上。此外，也有的采用大螺母紧固。表 4-19 为整体结

构式锻模。其优点是结构简单，制造、使用和维修方便。当车间既有模锻锤又有摩擦压力机，并要求同样能量设备的模具可以通用时，可采用锤锻模结构形式的整体模，以便根据生产任务调节不同设备的负荷。大公称压力的摩擦压力机多采用这种整体式锻模。

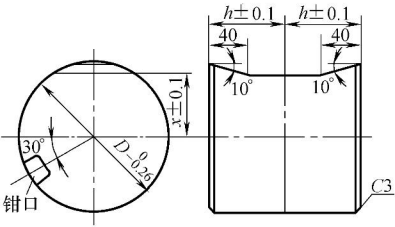
表 4-19 整体模块规格尺寸 (单位：mm)



设备规格/kN	1600,3000			10000	
规格 尺寸	1	2	3	4	5
A	220	300	330	360	360
B	160 ^{-0.16} ₀	160 ^{-0.16} ₀	160 ^{-0.16} ₀	305 ^{-0.22} ₀	305 ^{-0.22} ₀
C	120	120	120	150	150
D	200	200	260	360	400
L ₁	140	220	250	280	280
L ₂	140	140	200	280	320

(2) 组合式锻模 组合式锻模是一种装配式的结构。组合式锻模通常由上、下底板（模板），上、下模块，导柱，导套或导销及定位紧固件等零件组成。锻模特点是模块尺寸较小，其上一般只设型槽，锻模的导向及承击面另设在模架上。图 4-13a、b 分别为用楔紧固矩形模块和圆形模块的模架，其尺寸分别列于表 4-20 和表 4-21，所用模块尺寸分别列于表 4-22 和表 4-23。组合式（包括镶块式）锻模可节省模具钢，便于模具零件标准化，缩短生产周期，降低模具成本，适宜于多品种中小批量小型锻件的生产。

表 4-23 圆形模块尺寸 (单位: mm)

	设备规格 /kN	1600				3000			
	D	180				220			
	x	70				90			
	h	50	60	70	80	60	70	80	90

3. 模块和模座的紧固

摩擦压力机上模锻的模块和模座的紧固方式种类较多，如有采用楔紧固、螺钉紧固、压圈紧固，也有的直接将模块安装在模座上，还有的在 1600kN 摩擦压力机上采用大螺母紧固的方式。

(1) 楔紧固 这种紧固方式与锤上锻模固定相同。模块上有燕尾，用楔将模块或组合式模块紧固在模座上，而模座又借助于 T 形螺栓分别固定在摩擦压力机的滑块底面和工作台面上，如图 4-12 所示。这种方法的特点是结构简单，且有较高的可靠性，而且装卸方便。但楔紧固所占用的空间大，增加了燕尾高度的模具材料消耗。该连接方式为最常规的锻模紧固方式。

(2) 螺钉紧固结构形式 这种方法的特点是：因螺钉在工作时容易发生松动，装卸困难，同时过多的螺钉孔会削弱模座与模块的强度，所以这种方法仅适用于小型模块。

(3) 压板紧固 这种紧固方式是用压板将模块紧固在模座上。参照热模锻压力机的锻模紧固部分。

4. 锻模导向方法

摩擦压力机的导向精度差。为平衡模锻过程中的错移力，减少锻件错移和便于模具的安装对正，在模具上需要设有导向。常用的有导锁、导销和导柱套几种。回转体锻件的开式模锻，广泛采用环形导锁；闭式模锻时，主要靠凸凹模之间的间隙导向。角导锁和侧向导锁用于错移力较大的锻件或非回转体锻件。导锁的设计要点可参考锤上模锻的有关部分。

导销孔适用于形状简单，生产批量不大的锻件生产。导锁及销孔是直接设在模块上，通常是将上、下模对正固紧后，同时加工出导销的安装孔及导向孔，然后配上导销。

导柱、导套通常是设在模座上，与上、下模座一起组成模架，如图 4-13 所示。导柱、导套的直径和导向长度较大，导向精度较高。

5. 锻模的承击面

摩擦压力机滑块的打击速度比锤小，所以压力机锻模的受力条件比锤锻模好，它的承击面可为相应锤锻模的 $1/3$ ，锻模的高度也可小许多，但要凭经验确定。

第5章 平锻机上模锻

平锻机是卧置式的曲柄压力机，可以锻造一些在模锻锤或热模锻压力机上不能锻造的锻件，尤其适合锻造带有粗大头部的长杆类锻件，也适合在一根棒料上连续锻造穿孔的或具有不通孔的环形锻件。平锻机生产效率高且节省原材料，广泛地用于汽车、拖拉机、航空和轴承工业中大批量模锻零件的生产中。

5.1 平锻机工作原理和操作方法

平锻机（见图 5-1）的工作原理与热模锻压力机的一样，属于曲柄—连杆型的机构。由于机构中的滑块带着工作的模具在水平方向进行往复运动，有效地解决了模锻锤或热模锻压力机上模锻时的安模空间问题。平锻机按夹紧凹模的分开方向不同，可分为垂直分模平锻机和水平分模平锻机两种，其工作原理如图 5-2 所示。

垂直分模平锻机（见图 5-2a）是由电动机 1 经三角皮带 2、飞轮离合器 3、中间轴 5、齿轮 6、7，带动曲轴 8 转动，从而使主滑块 15 做往复直线运动。同时，曲轴左端的凸轮 11 迫使侧滑块 13 前后移动，并通过杠杆 18、19、20 使夹紧滑块 17 左右移动。当夹紧滑块使夹紧凹模合模后，主滑块恰好进行工作。棒料依次送入相应的夹紧凹模中，当凹模夹紧后，主滑块即对棒料进行顶锻。然后主滑块返回，随即夹紧凹模分开，棒料完成一次变形（工步）。如此往复，棒料依次通过沿垂直方向排列的各个型槽，完成相应各工步的变形，实现对毛坯的锻造。

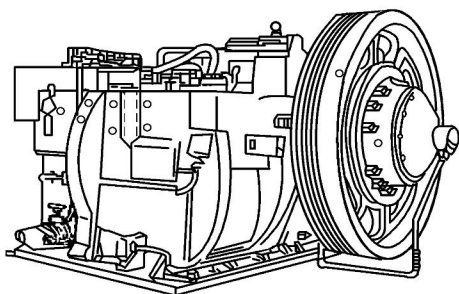


图 5-1 平锻机外形

水平分模平锻机（见图 5-2b）型槽按水平方向左右排列，由电动机经三角皮带、中间传动轴、齿轮、离合器，带动曲轴使主滑块做直线往复运动。此工作过程与垂直分模平锻机完全相同，但水平分模平锻机的曲柄连杆机构运动时，连杆与夹紧机构的杠杆相连接，从而迫使夹紧凹模上下移动。棒料由机器前送入凹模下半部的各型槽中，当上半部向下夹紧后，主滑块进行顶锻。当主滑块回程时，夹紧模分开，从而实现对毛坯的锻造。

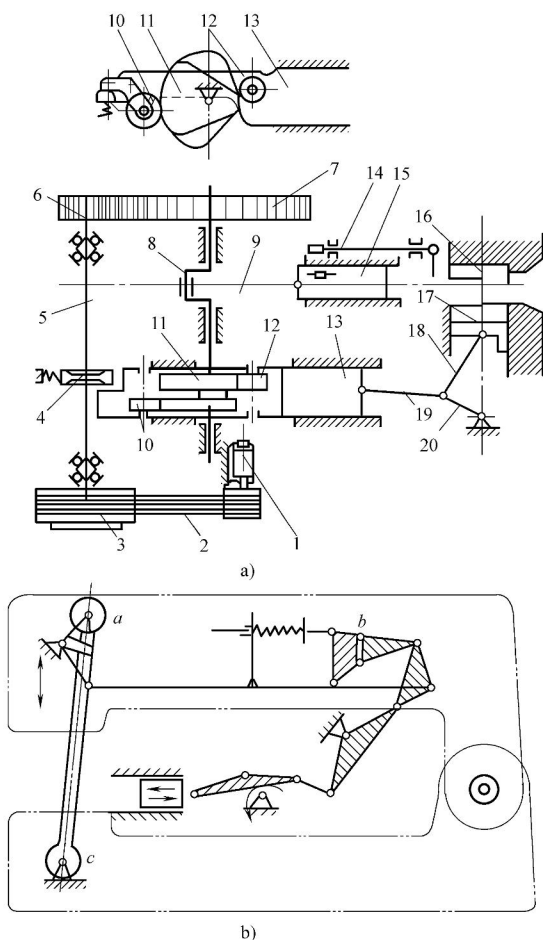


图 5-2 平锻机工作原理

a) 垂直分模平锻机

1—电动机 2—三角皮带 3—飞轮离合器 4—带式制动器 5—传动轴

6、7—小齿轮、大齿轮 8—曲轴 9—连杆 10—滚子 11—凸轮

12—滚子 13—侧滑块 14—挡料机构 15—主滑块 16—凹模

17—夹紧滑块 18、19、20—杠杆

b) 水平分模平锻机

 a 点—夹紧模闭合时位于最高点 b 点—过载时分开 c 点—是一偏心, 可调整封闭尺寸

垂直分模和水平分模的主要区别在于夹紧机构：垂直分模平锻机的夹紧机构是凸轮肘杆机构传动的，而水平分模的平锻机的夹紧机构则是通过连杆和杠杆机构传动的。垂直分模和水平分模方式平锻，除了模具的结构设计部分需要区分外，其锻

造成形特性则是一样的：由于机身在夹紧和锻造过程中受纵向载荷和横向载荷，因此机身是一个上面敞开的箱式框架结构。在它的外壁上，有各种形状的加强肋，而且在机身上还有高强度的纵向拉杆以增加刚度。对于大公称压力的平锻机，机身由前、后两部分构成，它们之间用螺栓拉紧，并增加了横向拉杆以提高刚度。为了便于毛坯定位，平锻机上都有前挡板，有的设备还有后挡板和毛坯支架。机身的右边有一带斜槽的出口，便于锻件运走。在许多平锻机上还装有剪切装置，剪切动作由夹紧滑块或夹紧机构中其他往复运动的机件来带动。垂直和水平分模的平锻机都有带油泵的自动润滑系统。其传动系统、曲柄—连杆机构、离合器、制动器等与其他曲轴压力机基本相同。这两种平锻机都有夹紧机构，需要有过载保护装置，以防设备过载时损坏，确保设备和人身安全。

我国一般以平锻机在行程终了时所能产生的最大压力（kN）来表示平锻机的锻造能力。

垂直分模平锻机和水平分模平锻机的主要技术规格，分别见表 5-1 和表 5-2。

表 5-1 垂直分模平锻机技术参数

公称压力/kN	5000	8000	12500	20000
主滑块行程/mm	280	380	460	610
夹紧滑块行程/mm	125	160	220	312
夹紧滑块闭合后主滑块的有效行程/mm	190	250	310	340
夹紧滑块开启前主滑块的返回行程/mm	30	130	170	140
模具尺寸:长/mm	450	550	700	850
宽/mm	180	210	260	320
高/mm	435	660	820	1030
主滑块在最前位置时,其边缘与夹紧模间距离/mm	110	175	180	230
进料窗口尺寸:高/mm	410	610	780	980
宽/mm	150	190	265	330
主滑块行程次数(次/min)	45	33	27	25
电动机功率/kW	26	55	115	155
外形尺寸:长/mm	4600	6215	6345	8620
宽/mm	3055	3931	3930	5185
地面上高度/mm	1945	2296	3000	3140
总高度/mm	2310	3041	3680	4140
总重/t	40	85	129.3	256.4

表 5-2 水平分模平锻机技术参数

公称压力/kN	3150	4500	6300	9000	12000	16000
夹模开口度/mm	120	135	155	180	205	230
滑块行程/mm	290	330	360	420	460	540
夹紧模闭合后主滑块的有效行程/mm	150	170	180	215	245	280
夹紧模开启前主滑块的返回行程/mm	80	95	100	108	130	150
模具尺寸:长/mm	330	400	450	630	705	670
宽/mm	380	450	530	600	720	800
高/mm	145	170	190	220	250	280
主滑块在最前位置时,其边缘与夹紧模间距/mm	110		120	180	280	400
主滑块行程次数(次/min)	55	45	35	32	28	25
电动机功率/(kW)	17	40	55	70	95	115
外形尺寸:长/mm	3442	3905	4320	6535	7645	8731
宽/mm	2160	2450	2700	3370	3825	4352
地面上高度/mm	2070	2120	2364	2680	2599	3719
总高度/mm	2415	2440	3098	2626	4149	5091
总重/t	21.4	34.55	49	87.2	132	197.4

平锻机上的模具结构与成形方法同模锻锤、热模锻压力机、摩擦压力机上模锻有较大的区别。平锻机有两个滑块，即主滑块和侧滑块。主滑块带动凸模沿水平方向运动，完成镦锻工作；侧滑块带动可动凹模垂直于主滑块的运动方向运动，起夹紧棒料的作用。如图 5-3 所示，左边是冲头，中间是固定凹模，右边是活动凹模。坯料先在底下的一个型槽内积聚，而后在中央的一个型槽内镦头，最后在上边的一个型槽内冲穿。

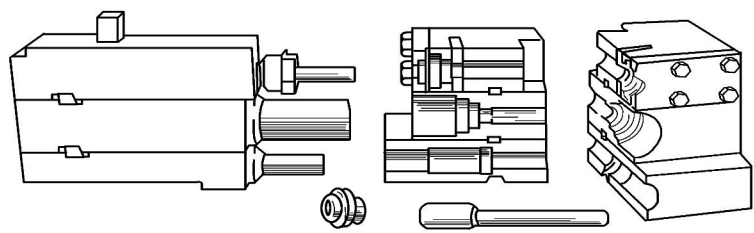


图 5-3 平锻机齿轮模具

平锻机的操纵系统采用电气和压缩空气联合控制的方式。电动机起动后踩动踏板,可使气动离合器带动曲轴转动进行单次行程、自动连续行程和调整行程。单次行程可分为送料、夹紧、镦锻和退料四个阶段,见图5-4。

(1) 送料阶段 这时活动凹模与固定凹模处于分开状态,把加热好的棒料放在固定凹模内,用前挡料杆(或后定料装置)控制送料长度,此时曲轴停止在后死点位置,见图5-4 I。

(2) 夹紧阶段 踩下脚踏板,制动器松开离合器结合,随着曲轴的旋转,当凸模尚未与棒料接触之前(即主滑块进行空行程时),活动凹模与固定凹模就闭合而将棒料夹紧。前挡料杆迅速离开工作位置,见图5-4 II。

(3) 镦锻阶段 随着曲轴继续旋转到使凸模与棒料接触时起,直到曲轴旋转到前死点止,即为镦锻阶段。它必须在主滑块的有效行程内完成,见图5-4 III。

(4) 退料阶段 随着曲轴继续旋转,当主滑块返回一定行程,活动凹模才开始退回,并回到原来位置;同时前挡料杆也恢复到工作位置。离合器松开,制动器刹车,曲轴停止在后死点上,取出锻件,见图5-4 IV。若锻件还需进行其他工步时,可移到下一个型槽中,重复以上的操作过程进行镦锻。

平锻优点:

1) 由于在平锻机上的凹凸模是沿着水平方向排列的,以及锻模上具备两个分型平面(右凹模与左凹模间的分型平面,凹模体与凸模体间的分型平面),所以能够模锻带有很长杆部的组件、穿孔的锻件、凹挡锻件或两个以上间隔距离相当大的粗大部分的锻件,且模锻斜度很小,甚至不带斜度。

2) 在平锻机上可进行无飞边的模锻或者所产生的飞边极小,还可以靠着模锻出深孔的方法来节省金属。

3) 在平锻机上制造具有通孔的锻件(Ⅱ组)与某些具有盲孔的锻件时,锻件可直接在平锻机锻模中从棒上脱落,故可以采用长的棒料来锻压,省去剪切棒料的

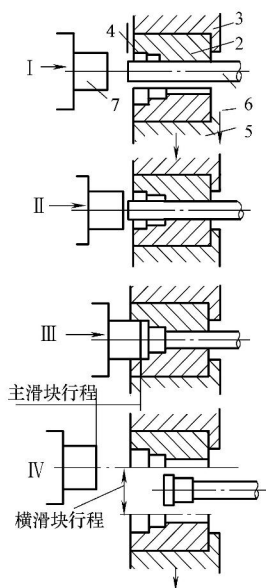


图5-4 平锻机工作过程

I、II、III、IV—工作过程的各个位置

1—坯料(棒料) 2—固定凹模 3—固定凹模模座

4—挡板 5—横滑块 6—活动凹模 7—凸模

工序。

4) 良好的纤维组织。

5) 平锻机的凹凸锻模普遍使用镶块。

6) 平锻机上工作的劳动条件比在模锻锤上好。

7) 采用电加热配合着机械化的输送棒料, 以及棒料在型槽之间进行机械化移动实现。

平锻缺点:

1) 靠棒料长度来确定体积: 试锻一批锻件之后, 将挡板确定并固定下来, 模锻工在锻打每个锻件之后, 不能够随意移动挡板的位置。

2) 为防止凹模中的棒料夹不紧, 棒料被部分推出, 需要采用公差尽可能小的高精度轧材。在某些情况下, 甚至采用冷拔的金属。

3) 与压力机一样, 平锻时坯料表面氧化皮不易清除, 要求平锻前须清除氧化皮, 或采用电加热——感应加热或接触加热。

4) 对非回转体、中心不对称的锻件, 较难锻造, 适应性较差。

5) 平锻孔类锻件时, 剩余料头较多, 应该充分利用, 否则会使材料消耗增大。

针对上述缺点, 可采取以下措施:

1) 采用长的棒料(约4m)作为原坯料。

2) 夹紧型槽的装置应尽可能地缩短长度, 采用凹凸不平的型槽表面。

3) 利用料头作为坯料来模锻或锻造各种锻锻件。

5.2 平锻工艺选择

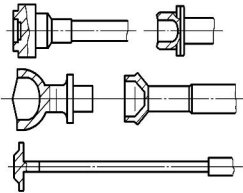
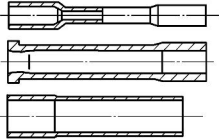
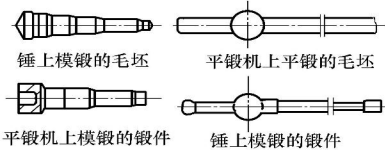
5.2.1 平锻件设计

平锻机上的锻件图设计与模锻锤、热模锻压力机、螺旋压力机上模锻步骤大致相同。平锻件图的制订包括分型面的选择、加工余量和公差的确定、模锻斜度的选择、圆角半径等。平锻机上的热锻件与冷锻件相同, 但要加上收缩率1.5%。

1. 平锻件分类

平锻机上模锻零件, 起初只限于锻造各种螺栓和一些形状简单的、对称的旋转体锻件。由于技术的不断改进, 目前已能平锻各种复杂不规则的锻件。表5-3列举了各工厂比较典型的一些锻件, 为了便于选择平锻工艺, 按平锻件形状特征, 可以把这些锻件大体上分成四类: 局部锻造类锻件、孔类锻件、管类锻件和联合锻造类锻件。

表 5-3 各种典型锻件

锻件类别	简 图	工 艺 特 点
杆类		1) 坯料直接按锻件杆部直径选定 2) 大多数单件模锻(一坯一件),后挡板定位 3) 型槽采用:积聚、预成形、终锻
穿孔类		1) 坯料直径尽量按孔径选定 2) 多件模锻(一坯散件),前挡板定位 3) 型槽采用:积聚、预成形、终锻、穿孔
管类		1) 坯料直径按锻件杆部直径选定 2) 多采用后挡板定位 3) 加热长度不超过变形长度不能太多 4) 应先增加壁厚再镦粗成形 5) 型槽采用:积聚、预成形、终锻
联合模锻		采用一种以上模锻设备成形复杂锻件。如曲轴锻件曲拐部分锤上模锻,法兰部分平锻

同一类的零件都具有一些共同特性,明确了所给零件从属于上述分类中的那一类别以后,其模锻工艺也就基本上可以确定了,从而可以定出选择模锻工步和确定原坯料尺寸的方法,这样大大减轻拟订工艺过程的任务量。

2. 分型面的选择

与模锻锤、热模锻压力机一样,平锻机上的锻件成形方式也有开式平锻和闭式平锻之分。

1) 开式平锻 非旋转体杆类锻件用后挡板定位需要设置飞边(见图 5-5a),

旋转体杆类锻件在凸模内成形。开式平锻会产生横向飞边，需要采用切边工序。

2) 闭式平锻 旋转体杆类锻件用前挡板定位，一般不设置飞边，锻件终锻时仅产生少量纵向飞刺，不需切边（见图 5-5b）。如果飞边过大，可用粗磨机打磨，较小飞边不影响加工。

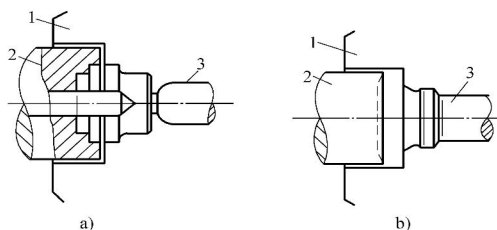


图 5-5 开式平锻和闭式平锻

a) 开式平锻 b) 闭式平锻

1—凹模 2—凸模 3—锻件

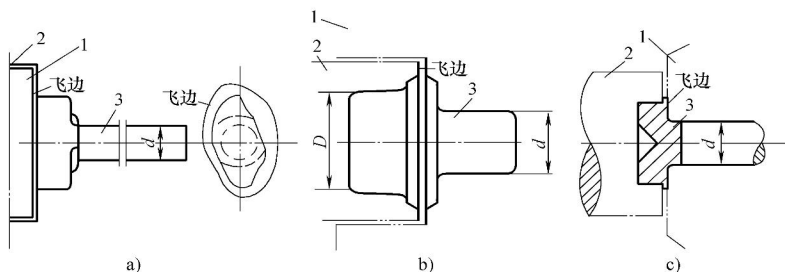


图 5-6 分型面的位置

a) 飞边设在锻件最大轮廓前端面

1—凸模 2—凹模 3—锻件

b) 飞边设在锻件最大轮廓中间 c) 飞边设在锻件最大轮廓后端

1—凹模 2—凸模 3—锻件

对于采用后挡板定位的局部镦粗类锻件，因棒料尺寸精度会影响变形部分金属体积，故大多采用开式平锻，分型面的位置应该设在锻件最大轮廓处。

图 5-6a 所示的分型方式，是将飞边设在锻件最大轮廓的前端面，其优点是凸模结构简单，凸模和凹模的错移不会反应在锻件上，对于非回转体锻件，还可以简化模具的调整工作。但缺点是在切边时容易拉出纵向毛刺。

图 5-6b 所示的分型面的方式是将飞边设在最大轮廓中间，其优点是便于检查凸模和凹模的错移，切边时可获得较好的质量。

图 5-5c 所表示的分型方式，是将飞边设在锻件最大轮廓线的后端，这样，由于锻件在凸模内成形，锻件内外径的同心率好，没有凹模分型面毛刺。

以上介绍了几种分型面选择的方式及优缺点，在具体选择分型面位置时，还应该根据机械加工定位的要求合理选择。

平锻机上模锻时，还有一个与上述分模方式相垂直的分型面，即凹模开合夹紧棒料的分型面。正因这两个互相垂直的分型面，它可以锻造一些在模锻锤或锻压机上不能锻造的锻件。

3. 余量和公差

平锻机上余量和公差见表 5-4。

表 5-4 余量和公差

平锻机公称压力/kN	单面余量/mm	偏差/mm	
		+	-
1250 ~ 3150	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.75	0.5 ~ 1.0
5000 ~ 6300	1.75 ~ 2.5	1.0 ~ 2.0	0.5 ~ 1.5
8000 ~ 12500	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 2.5	1.0 ~ 1.5
16000 ~ 20000	2.25 ~ 3.5	1.5 ~ 3.0	1.0 ~ 1.5
25000 ~ 31500	2.5 ~ 4.0	2.0 ~ 3.5	1.0 ~ 2.0

注：1. 内孔和凹挡尺寸偏差取相反符号，并交换位置。
2. 水平（长宽）和高度方向偏差相同。

零件的外形轮廓较大，取较大尺寸公差，内孔取相反符号，即负公差大于正公差。锻件形状较复杂或模槽容易磨损的部分应作特殊考虑。

生产批量的大小也是影响加工余量和尺寸公差的主要因素。例如在大量生产的情况下，可以减小加工余量，并相应改进锻件设备。

4. 模锻斜度的选择

平锻件模锻斜度的选择主要根据平锻的成形方法。锻件外侧表面没有凹挡（见图 5-7），且整个锻件均在凹模内成形时，理论上无需模锻斜度，实际生产中参照表 5-5 取值。凹挡锻件（见图 5-8）在凹模中成形时，凹挡外壁斜度 $\alpha = 3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，凹挡内壁斜度 β 见表 5-6，内孔斜度 θ 见表 5-7。

5. 圆角半径

圆角半径的选取同锤上模锻。

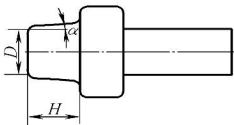


图 5-7 外侧表面无凹挡锻件斜度

表 5-5 α 值

$\frac{H}{D}$	< 1	1 ~ 3	> 3
α	15'	30'	1°

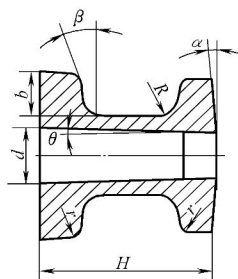


图 5-8 凹挡锻件斜度

表 5-6 β 值

Δ/mm	< 10	10 ~ 20	> 20
β	7°	10°	12°

表 5-7 θ 值

$\frac{H}{d}$	< 1	1 ~ 3	> 3
θ	30′	1°	1°30′

5.2.2 平锻工艺过程

在平锻机上可进行的工步有如下几种：镦粗（又称积聚）、成形、冲孔、穿孔、切断、切边等平锻工艺设计。平锻工艺过程也就是将各种工步加以选配组合，从而锻制出各种各样的平锻件。其中端部的镦粗聚料是平锻机工艺中最具代表性、最具有特征的工序，也是其他工序得以顺利进行的基础。

工步图是模具图中的一个重要的组成部分，它表示出了锻件各道型槽的锻坯及最终锻件的形状、尺寸，并以热尺寸绘制。

只有形状简单的锻件，棒料上被局部镦粗部分的长度与棒料直径之比不大时，才能在一个型槽中制造出来，这时，只需采用一个工步。但是，绝大多数在平锻机上模锻的锻件要求采用两个、三个甚至再多一些的类型槽。所需型槽的数目，以及工步的形状、尺寸由以下条件决定：

- 1) 锻件的形状。
- 2) 锻件的尺寸与体积。
- 3) 原坯料的尺寸——棒料上被局部镦粗部分的长度及其与棒料直径之比。

在平锻机上常见的工艺过程有以下几种：一次镦粗 + 成形、二次镦粗 + 成形、三次镦粗 + 成形、冲孔成形 + 穿孔、镦粗 + 冲孔成形 + 穿孔等。

平锻生产工艺过程，除了镦粗工步以外，还可以进行下面几种工步：

- 1) 卡锻（细）：把棒料某些部分断面减小，这一工步都在镦粗工步之前，利用凹模上卡锻型槽来完成。
- 2) 冲孔：在平锻件上冲出不透穿的孔。
- 3) 穿孔：在锻件上穿出透孔。
- 4) 切边：切去锻件上的横向飞边。
- 5) 切断：把锻件从棒料上切下来，或切掉棒料卡细用部分料头。

把上面这些工步组合在一起，布置在一个模具上，棒料加热一次，经过几次行

程，就可以锻出各种不同形状和尺寸的锻件，例如汽车曲轴起动爪的平锻工艺过程，是由下面四个工步组成（见图 5-9）：

工步 I —— 镦粗毛坯并卡细棒料。

工步 II —— 继续镦粗毛坯和卡细棒料。

工步 III —— 成形冲孔，锻件上产生横向飞边。

工步 IV —— 从棒料上切下锻件。

冷锻件再用 1600kN 压床切除飞边。

工步图应按操作的顺序依次画出，如：聚料、预锻、终锻、穿孔和切边等工步。如果有卡细、扩径、切断、弯曲及其他工步，也要一一示出。

所有的工步应有统一的基准线。通常，以凹模与凸模的结合面作为基准。每个工步（包括预锻、终锻）的前后方向上的基础尺寸应以基准线为起点标注，这样可以使型槽设计比较方便。

在第一个工步位置上，还要用假想线示出坯料变形部分的长度（ l_0 ）。

实际上，工步图的设计并不是一次完成的。因为许多参数相互影响，同时还要照顾许多条件，如积聚的次数、冲孔的次数、变形量是否平衡甚至坯料直径等等，都可能要经过反复的核算。

典型的平锻工步图如图 5-10 至图 5-15 所示。

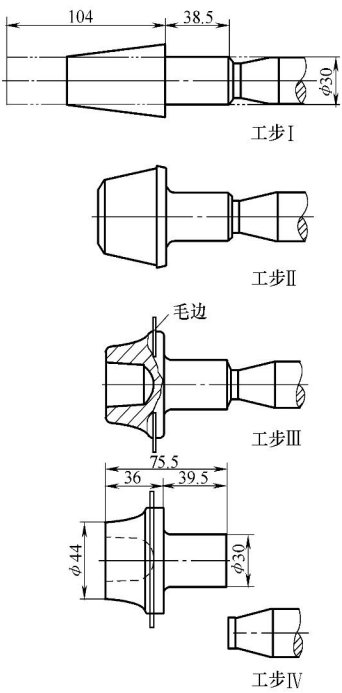


图 5-9 曲轴起动爪平锻工艺过程

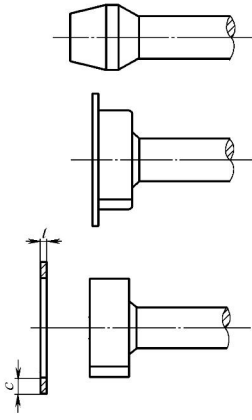


图 5-10 带飞边的杆类锻件工步图

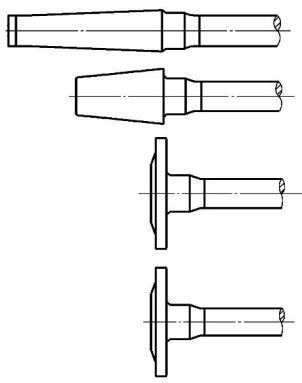


图 5-11 不带飞边的杆类锻件工步图

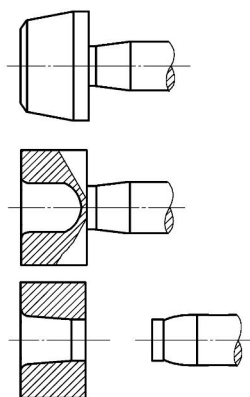


图 5-12 带卡细部分的穿孔锻件工步图

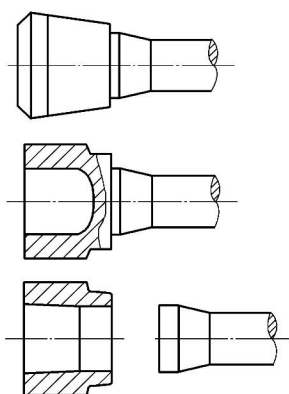


图 5-13 带扩径部分的穿孔锻件工步图

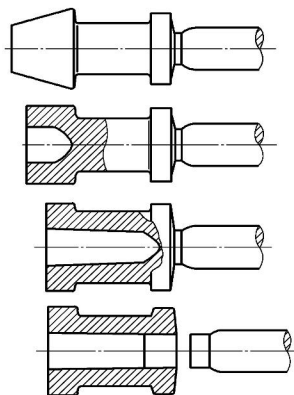


图 5-14 较复杂的穿孔锻件工步图

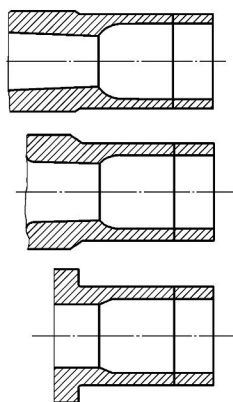


图 5-15 管类锻件工步图

在锻件图确定之后，平锻模设计的首要任务就是要设计工步图，并确定坯料规格。这两个项目完成之后，各个型槽的设计工作便有了依据。但在型槽设计时，随着对工步形状及尺寸的确定，往往需要对坯料重新核算。

5.2.3 锻锻工步设计

平锻工艺过程，主要是加热后的棒料在夹持下逐步锻粗（聚集）的过程。所以，首先要考虑怎样锻粗才能使棒料不致产生弯曲和折叠。实践证明，锻粗过程受到一定条件的制约，这些制约条件通常被称之为锻粗（聚料）规则。遵循这些规则，锻造过程就比较顺利，能够保证锻件的质量。否则，锻件的质量就得不到保证。

1. 局部积聚的条件

在使毛坯局部锻粗时，为了获得良好的顶锻锻件，应遵守一定规则。局部锻粗通常有三种方法：平冲头局部锻粗、圆柱形凹模中锻粗和锥形凸模锻粗，后两种为型槽内局部锻粗。锻粗（聚料）的方式通常有三种（见图 5-16）：平冲头自由锻粗（积聚）、凹模内锻粗（积聚）和凸模内的锥形锻粗（积聚）。

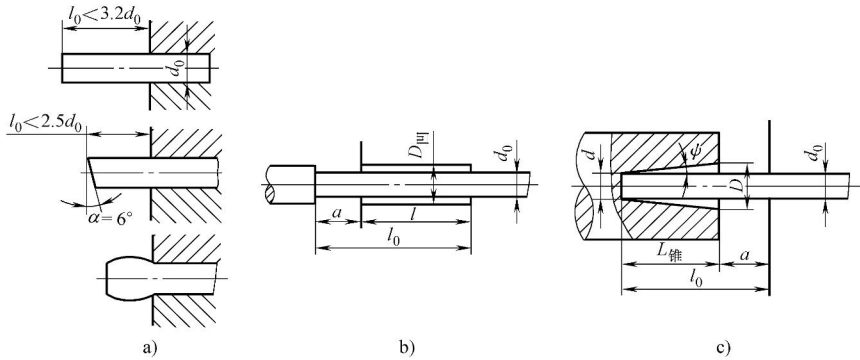


图 5-16 局部锻粗参数选择

a) 平冲头局部锻粗 b) 圆柱形凹模局部锻粗 c) 锥形凸模局部锻粗

锻粗比 ψ 是锻粗（积聚）规则中最主要的技术参数，可以确定锻粗的次数，并计算出合理的锻粗坯形。

$$\psi = \frac{l_0}{d_0}$$

式中 ψ ——材料的锻粗比；

l_0 ——坯料与变形部分的长度，它是按锻件体积加上烧损率后除以坯料直径计算出来的（锻件体积应包括可能有的飞边及连皮等）（mm）；

d_0 ——坯料直径（mm）。

1) 当坯料上需要锻锻部分的长度 l_0 与直径 d_0 之比值 $\psi \leq 2.5$ 时，可将坯料一次锻锻到任意尺寸而不会引起坯料弯曲（见图 5-16a）。当坯料端面比较平直且直径较大，加热均匀时，可适当增大 ψ 值，取 $\psi \leq 3.2$ ；反之，则适当减小。具体参数参照表 5-8 选取。

表 5-8 局部锻粗基本条件

冲头形状	一次行程局部锻粗条件	说 明
平冲头	$\phi_{允} = \frac{l_0}{d_0} = 2 + 0.01d_0(d_{25}^{\text{①}})$	坯料端面斜度 $\alpha < 2^\circ$
平冲头	$\phi_{允} = 1.5 + 0.01d_0(d_{25}^{\text{①}})$	坯料端面斜度 $\alpha = 2^\circ \sim 6^\circ$ （一般剪床下料，平锻机剪断模下料）

(续)

冲头形状	一次行程局部镦粗条件	说 明
有凸台冲头	$\phi_{允} = 1.5 + 0.01 d_0 (d_{均}^{\frac{11}{10}})$	坯料端面斜度 $\alpha < 2^\circ$
有凸台冲头	$\phi_{允} = 1.0 + 0.01 d_0 (d_{均}^{\frac{11}{10}})$	坯料端面斜度 $\alpha = 2^\circ \sim 6^\circ$

① 在第二次及以后的镦锻工步中，用 $d_{均} = \frac{d+D}{2}$ 代替 d_0 。

2) 当 $\psi > 2.5$ 时，为了避免坯料纵向失稳弯曲而产生折纹，必须在型槽内逐步积聚，直至长径比小于 2.5 时，才能最后成形。若在圆柱形凹模中镦锻（见图 5-16b），虽然可防止坯料弯曲，但镦锻效果不如在锥形凸模中好，如需增加工步次数，金属易从毛坯端部及凹模分型面间挤出，表面质量不好等，所以生产中常用的是在冲头锥形型腔内的积聚。

3) 若坯料端面斜度较大或冲头端部圆滑， ψ 比值应适当减小。

4) 当 $\psi > 3$ 时，最常使用的是锥形凸模内积聚（见图 5-17）。用这种方法的最大优点是可以通过多次积聚最高可使 ψ 达到 14。但是，由于受设备空间限制和坯料温度下降的影响，很少用到这种极限情况。因此，坯料在锥形凸模中镦锻能获得较好的效果，并被广泛使用。

2. 凸模内锥形积聚工步计算

凸模内锥形积聚工步的计算，重点介绍在锥形凸模中镦锻的工步设计（见图 5-17）。

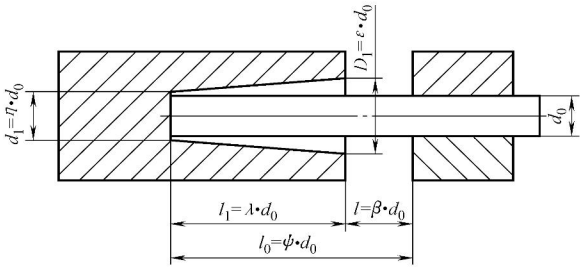


图 5-17 锥形凸模内积聚

为了保证预锻顺利进行，在锥形模槽积聚时应符合下列条件：

$$\beta = \frac{l}{d_0} \leq 3 \text{ 或 } \beta \leq 8 - 4\epsilon$$

这里的 $\epsilon = D_1/d_0$ 称为锥形体的大头系数，其值为

$$\epsilon = 1.73 \sqrt{\frac{4}{4 - \beta} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2} - \left(\frac{\eta}{2}\right)$$

这里的 $\eta = 1 \sim 1.2$ ，称为锥形体小头系数。

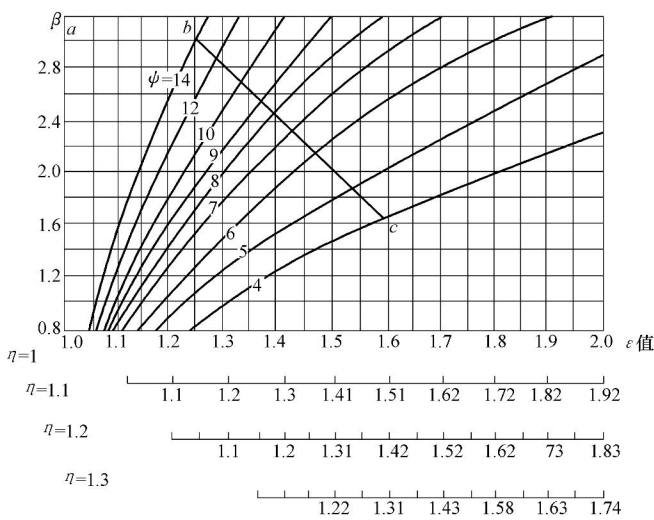


图 5-18 锥形锻锻限制线

已知 l_0 、 d_0 即可得出 ψ ，然后在图 5-18 上求出 ψ 线与 abc 线交点。由交点作纵、横坐标垂线，便可求出 β 及 ε （与选用 η 值有关），计算锥形型槽尺寸。即

$$d_k = \eta d; D_k = \varepsilon d$$

$$l_k = \lambda d = (\varphi - \beta) d$$

在计算第二次及以后各次的积聚尺寸时，可用前一次积聚的截锥体平均直径代替 d_0 值进行计算。

为了防止积聚过程中产生飞边，积聚型槽体积应较积聚金属体积增大 3% ~ 10%。

第二次顶锻时，用 $d_{\pi 1} \left(d_{\pi 1} = \frac{D_1 + d_1}{2} \right)$ 代替 d_0 作计算。当计算出的 $\psi l_2 / d_{\pi 2} \leq 2.5$ 时，就可不再进行锥形顶锻，可直接顶锻到任何形状；否则，仍应继续顶锻直至 $\psi_n \leq 2.5$ 时为止（ n 为顶锻次数）。

锥形型槽设计还需注意以下几点：

- 1) 在顶锻次数较多时， η 取较小值，有时还采用二级锥度的顶锻型槽，以增大顶锻的稳定性。
- 2) 在顶锻过程中，为防止毛坯直径偏差而挤出毛刺，应考虑不充满系数 μ ，将锥体长度放大。其值可参见表 5-9。

表 5-9 不充满系数 μ

坯料直径/mm		20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	> 80
道次	μ					
第一道	μ_1	1.06	1.08	1.1	1.12	1.14
第二道	μ_2	1.04	1.06	1.07	1.08	1.1
第三道	μ_3	1.02	1.04	1.04	1.06	1.06
第四道	μ_4	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
第五道	μ_5	1.0	1.01	1.02	1.03	1.04

3) 对于较深的型槽, 须考虑一定长度的调节量, 见图 5-19 中小头圆柱部分。

4) 在进行多次顶锻时, 各工步的尺寸应采取与限制线 abc (见图 5-18) 相近的值, 这样在顶锻时就可以得到比较满意的结果。

除上述方法外, 也可直接对多次顶锻工步, 按图 5-19 可以直观地设计凸模锥形顶锻型槽。

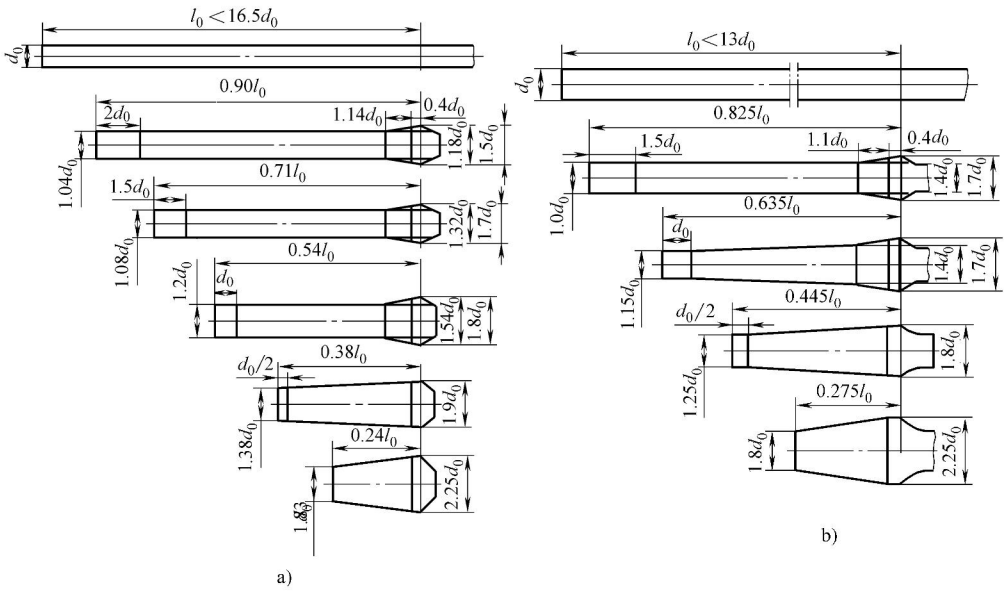


图 5-19 锻锻工步计算图

a) 五次聚料, $13d_0 \leq l_0 \leq 16.5d_0$ b) 四次聚料, $9.7d_0 \leq t_0 \leq 13d_0$

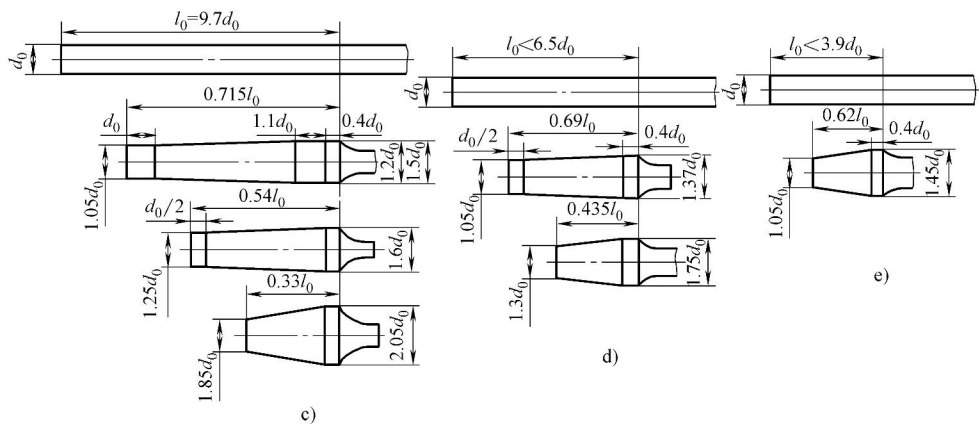
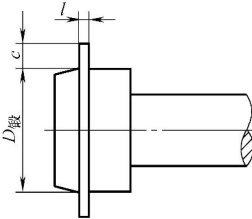


图 5-19 锻锻工步计算图 (续)

c) 三次聚料, $6.5d_0 \leq l_0 \leq 9.7d_0$ d) 二次聚料, $3.9d_0 \leq l_0 \leq 6.5d_0$ e) 一次聚料, $l_0 \leq 3.9d_0$

对于开式模锻，模锻过程中可能产生飞边，飞边体积按表 5-10 确定。尽管形成横向飞边容易去除，但是横向飞边的产生只能出现在最后一个工步中。

表 5-10 飞 边 尺 寸



$D_{\text{锻}}/\text{mm}$	< 20	20 ~ 80	80 ~ 160	160 ~ 260	260 ~ 360
c/mm	5 ~ 8	8 ~ 12	12 ~ 16	16 ~ 20	20 ~ 25
t/mm	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.0	4.0 ~ 4.5

对于同时在凸模和凹模的型槽中锻锻，首先应将坯料按单锥体设计（见图 5-20 中的双点划线），然后再以体积不变条件换算成双锥体（见图 5-19 中的实线），使 $L_{\text{锥1}} > L_{\text{锥2}}$ ，并保证 $L_{\text{锥1}} > 0.372l_0$ 。

5.2.4 冲孔工步及预锻成形

端部预备锻粗是冲孔工序得以顺利进行的基础。
为了减小冲孔力，除了选用具有合适的头部形状的冲头外，冲孔前毛坯的断面

面积应大致与锻件相应断面面积相等或略小，由此可以减少冲孔过程中金属的反挤现象，使冲孔力较小。对于冲孔类锻件，一般应按锻件上较小断面的面积选取；对于厚壁件，原毛坯直径比孔直径大，冲孔前必须将连接处原毛坯夹细；对于薄壁件，原毛坯往往比孔的直径小，冲孔前毛坯与锻件连接处必须局部加粗至孔的直径；对于冲深孔的锻件，还应考虑毛坯前端的定位，以免在冲孔力作用下形成纵向弯曲。

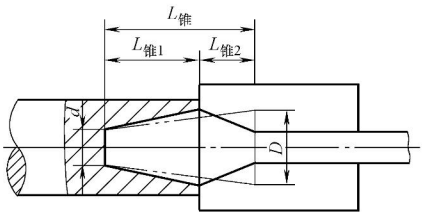


图 5-20 双锥体锻锻

1. 冲孔次数

冲孔类锻件都需要冲孔，通孔锻件在冲孔后还须进行穿孔。冲孔时，为了易于将金属挤到四周，应采用适当的带圆弧形的锥形尖冲头（见图 5-21a）。冲孔时，为了把不通孔的底部穿通，得到光洁的切口，冲孔冲头的底部必须是平的（见图 5-21b）、带有刃口，同时冲孔长度不能太大，否则会因冲孔力太大而使锻件后端部挤出毛刺及裂缝，并使冲孔冲头磨损太快。

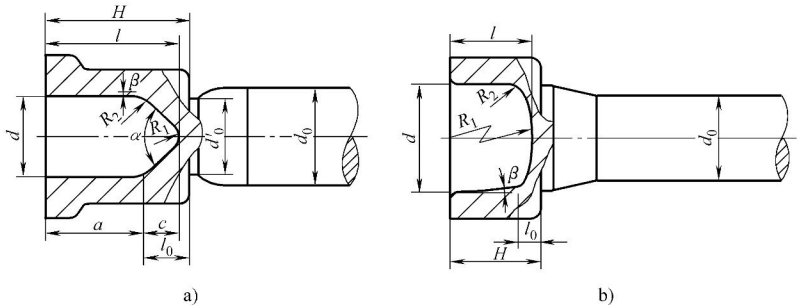


图 5-21 冲孔示意

a) 尖冲头冲孔 b) 平冲头冲孔

对于较浅的孔，可以一次冲出；对于较深的孔，为了防止毛坯与冲头的弯曲与偏斜，应控制每次冲孔的深度不能太大，因而必须采用多次冲孔。冲孔次数根据锻件终成形尺寸的孔深 l （其数值等于图 5-21 中尺寸 a 及 c 之和）和孔径 d 的比值 l/d 选定（按表 5-11）。多次冲孔时，除第一次冲孔较浅外，其余各次的外孔深度应基本相等。

表 5-11 冲孔次数

$\frac{l}{d}$	<1.5	1.5~3	3~5
冲孔次数	1	2	3

2. 终锻工步设计

平锻孔类锻件在终锻工步时只能获得带芯料的不通孔锻件，经下一道穿孔后，才能获得带通孔的锻件。芯料太厚，则在穿孔时使支承端面变形而拉出毛刺，或使锻件穿孔部分变形。芯料太薄，则在终锻冲头回程时易把锻件带走，芯料被拉断。

终锻工步冲孔形状的设计常有两种形式。

1) 尖冲头冲孔，见图 5-21a。这种冲孔方式适用于深孔 ($H/d_0 > 1$) 类环形件， l_0 不宜过大，否则冲孔时易使锻件变形 (表 5-13)。其尺寸按下列各式设计 (对于多工步锻锻，可直接参考图 5-19 设计)： $l_0 = Kd$ ， $c = 0.5l_0$ ， $R_1 = 0.2d$ ， $R_2 = 0.4d < a$ ， K 系数见表 5-12。冲头的常用顶端角度有 60° 、 75° 、 90° 、 110° 和 120° 。

表 5-12 K 系数

H/d	0.4	0.8	≥ 1.2
K	0.2	0.4	0.5

2) 平冲头冲孔，见图 5-21b。其尺寸可按下列各式计算： $l_0 = 2 \sim 10\text{mm}$ ， $R_1 = (0.8 \sim 1.8)d$ ， $R_2 = (0.1 \sim 0.15)d$ 。

平冲头成形时需要力量较大但 l_0 较小，穿孔力量较小，穿孔质量较好。对于 $\frac{H}{d_0} \leq 1$ 的浅孔件，常采用平冲头冲孔。

表 5-13 冲 孔 深 度

平锻机公称压力/kN	2500 ~ 3150	4000 ~ 8000	12500 ~ 20000
l_n/mm	20	25 ~ 35	35 ~ 45

3. 预锻工步设计

为了改善冲孔金属流动条件并易于充满型槽，需采用预锻工步。预锻根据其所带孔的大小而深浅不同。其预锻毛坯设计有以下要求：

1) 浅孔厚壁锻件要求预锻毛坯形状如下 (见图 5-22)：

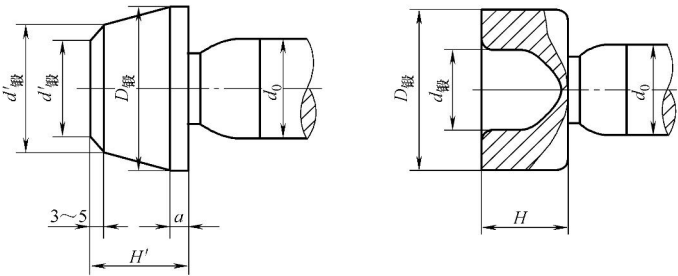


图 5-22 浅孔厚壁锻件

$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}}$ 或 $D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (1 \sim 2) \text{ mm}$, $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$, $H' = H + (8 \sim 15) \text{ mm}$, $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$, 预锻型槽不充满系数 $\mu = 1.1 \sim 1.2$, $d''_{\text{锻}}$ 在满足上述条件后按体积不变原则计算确定。

2) 浅孔薄壁锻件要求预锻毛坯形状如下 (见图 5-23):

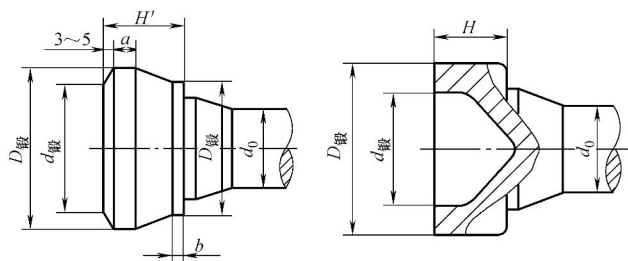


图 5-23 浅孔薄壁锻件

$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2) \text{ mm}$, $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$, $H' = H + (8 \sim 15) \text{ mm}$, $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$, 型槽不充满系数 $\mu = 1.1 \sim 1.2$, $D''_{\text{锻}}$ 及 b 在满足上述条件后按体积不变原则计算确定。

3) 深孔厚壁锻件要求预锻毛坯形状如下 (见图 5-24):

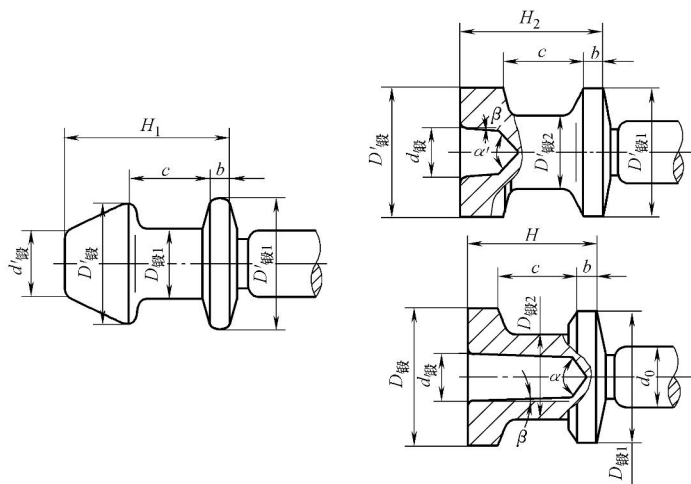


图 5-24 深孔厚壁锻件

$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}}$ 或 $D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (1 \sim 2) \text{ mm}$, $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$, $D''_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2) \text{ mm}$, 计算时尽量使 $D_{\text{锻}2}^2 = D_{\text{锻}2}^2 - d_{\text{锻}}^2$, $D'_{\text{锻}1} = D_{\text{锻}1}$, $H_2 = H + (5 \sim 10) \text{ mm}$, $H_1 = H_2 + (5 \sim 10) \text{ mm}$, $\alpha' < \alpha$, 每道工序的冲头斜度 β 保持不变。

4) 深孔薄壁锻件要求预锻毛坯形状如下 (见图 5-25):

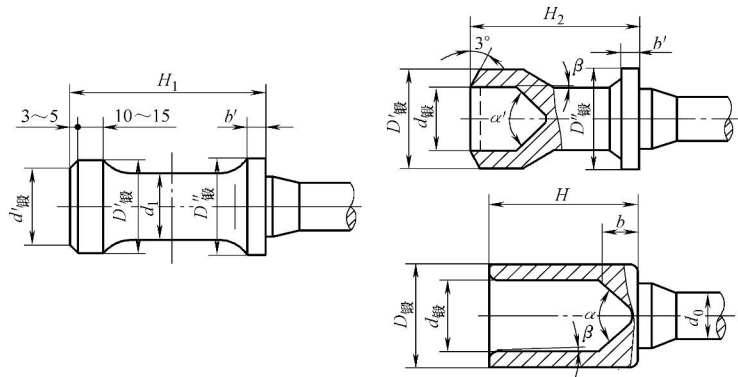


图 5-25 深孔薄壁锻件

$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2) \text{ mm}$, $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$, $D''_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2) \text{ mm}$, $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$ 。为避免金属变形时倒流, 计算时尽量使 $d_1^2 = D_{\text{锻}}^2 - d_{\text{锻}}^2$, 锻件高度 H_1 、 H_2 和冲头斜度 β 、 α' 、 α 要求与深孔厚壁锻件相同。

5.2.5 坯料计算

1. 坯料体积 $V_{\text{坯}}$

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{锻}} + V_{\text{飞}} + V_{\text{芯}})(1 + \delta)$$

式中 $V_{\text{锻}}$ ——锻件体积, 考虑到生产过程中常出现的模具磨损及未锻靠的情况, 因而应包括正偏差的一半;

$V_{\text{飞}}$ ——终锻后横向飞边体积, 见表 5-10;

$V_{\text{芯}}$ ——冲孔芯料体积;

δ ——烧损率, 坯料加热过程中会有火耗。煤气加热时烧损率 3%, 中频感应加热时为 0.5% ~ 1%, 在计算所用坯料的体积时应当计入。

2. 坯料直径 d_0

选择毛坯直径应考虑平锻工艺的合理性, 确定的坯料直径应符合国家标准列出的规格。同时, 为了使生产管理方便, 最好使用厂内现有的规格, 以减少备料品种。

(1) 杆类锻件 带杆锻件的毛坯直径参照锻件杆部来确定, 应尽量使坯料直径等于锻件杆部直径, 以减少机械加工工时。如果棒料直径过大, l_0 很小, 将影响前挡板定位。同时尽量将 ψ 值控制在 9 以内, 否则聚集的次数将超过两次, 使锻造成形困难。

(2) 穿孔类锻件

- 1) 穿孔类锻件的毛坯直径选择最好能与穿孔直径相等（或相近），这样可以使工步简化，不必采用卡细、扩径等工步。
- 2) 所选毛坯的断面积应小于锻件的断面积，否则对于端面带有凹坑的锻件或穿孔件容易产生金属回流，形成折叠。
- 3) 在不增加聚料工步或工步次数不多时，采用较小直径的毛坯，以减少夹持部分的材料消耗。
- 4) 在采用前挡板定位时，要求毛坯伸出凹模的长度大于 15mm，否则应减小毛坯直径。

具体选择 d_0 时，主要考虑使计算毛坯直径 $d_{计}$
 $= \sqrt{D_{锻}^2 - d_{锻}^2}$ ，见图 5-26。

①当 $d_{计}/d_{锻} = 1.0 \sim 1.2$ 时，应尽量使 $d_{计} = d_{锻}$ ，
即 $d_0 = (0.82 \sim 1.0) d_{计} \approx d_{锻}$ ；

②当 $d_{计}/d_{锻} > 1.2$ 时，为了减少工步数，应取
 $d_0 \geq d_{锻}$ ，为了减少坯料卡细程度和料头损失，在不
增加聚料工步的前提下，力求用较小直径的棒料；
或为了减少工步，毛坯要进行卡细；

③当 $d_{计}/d_{锻} < 1.0$ 时，为了防止金属在冲孔过程中先锻锻后挤压产生的倒流现象，应选用较大直径的棒料，使 $d_0 < d_{锻}$ ，或将毛坯进行扩径。

3. 坯料长度 l_0

$$l_0 = \frac{V_{坯}}{A_{坯}} = \frac{V_{坯}}{\frac{\pi}{4} d_0^2} = 1.27 \frac{V_{坯}}{d_0^2}$$

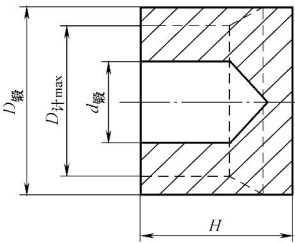


图 5-26 冲孔锻件计算图

5.2.6 平锻机公称压力选择

平锻机的公称压力选择，可按下面的经验公式计算确定：

$$F = 5.75KA$$

式中 F ——平锻机的公称压力（kN）；

A ——锻件投影面（包括飞边）（ cm^2 ）；

K ——钢种系数，其值见表 2-14。

平锻机的公称压力也可按锻锻力与棒料直径的关系进行选择（见表 5-14）。

表 5-14 锻锻力与棒料直径的关系

平锻机公称压力/kN	3150	500	6300	800	10000	12500	16000	20000
可锻锻最大值/mm	50	80	100	120	140	160	180	210

5.3 平锻型槽设计

进行了工步设计、坯料尺寸计算及设备吨位选定后，接下来的工作是平锻型槽设计。型槽包括终锻型槽、预锻型槽和镦锻型槽。

5.3.1 终锻、预锻型槽设计

1. 终锻型槽设计

(1) 凹模直径 $D_{\text{凹}}$ (见图 5-27)

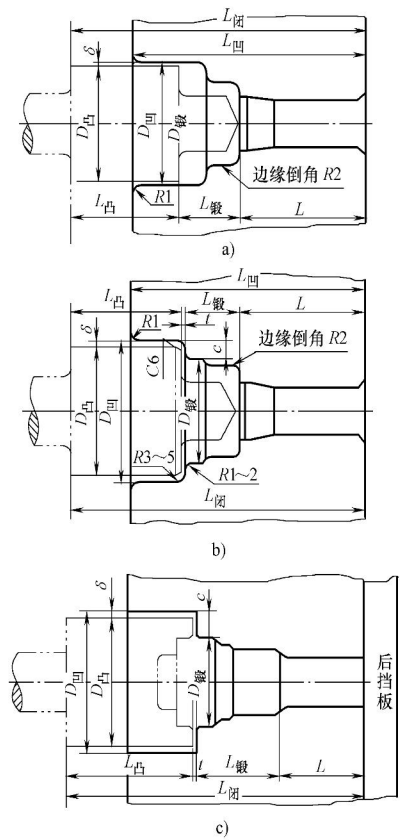


图 5-27 凸凹模直径设计

1) 闭式模锻 (见图 5-27a):

$$D_{\text{凹}} = D_{\text{锻}}$$

2) 开式模锻:

当采用前挡板定位（见图 5-27b）时，

$$D_{\text{凹}} = D_{\text{锻}} + (2 \sim 2.5)c$$

当采用后挡板定位（见图 5-27c）时，

$$D_{\text{凹}} = D_{\text{锻}} + (2.5 \sim 3)c$$

式中 c ——飞边宽度（mm），见表 5-10。

（2）凸模直径 $D_{\text{凸}}$ （见图 5-27）

$$D_{\text{凸}} = D_{\text{凹}} - 2\delta_1$$

式中 δ_1 ——凸凹模间的间隙（mm），见表 5-15。

表 5-15 终锻型槽凸凹模间的间隙 δ_1

平锻机公称压力/kN	2250 ~ 3150	4500 ~ 5000	6300 ~ 8000	9000 ~ 10000	12000 ~ 12500	16000	20000
δ_1/mm	0.2	0.26	0.30	0.35	0.4	0.5	0.75

（3）凸模的长度 $L_{\text{凸}}$ （见图 5-27b、c）

$$L_{\text{凸}} = L_{\text{闭}} - (L + L_{\text{锻}} + t)$$

式中 $L_{\text{闭}}$ ——凸凹模封闭尺寸（mm）；

L ——型槽夹紧部分长度（mm）；

$L_{\text{锻}}$ ——锻件在凹模槽中成形部分长度（mm）；

t ——飞边厚度（mm），见表 5-10。

其余尺寸见表 5-16 及图 5-28b。

表 5-16 凸凹模的其他尺寸（单位：mm）

锻件直径 $D_{\text{锻}}$	< 20	31 ~ 80	81 ~ 160	161 ~ 260	261 ~ 360
R_1	2	3	5	5	5
R_2	1	1.5	2	2.5	3
o	1.5	2	3	3.5	4

2. 预锻型槽设计

预锻型槽是根据预锻工步图设计的，型槽常采用闭式，设计方案与闭式终锻型槽的一样。

5.3.2 墩锻型槽设计

1. 凸模设计

凸凹模结构及工作状态设计见图 5-28，凸模型槽根据计算的锥体尺寸 D_n 、 d_n 和 l_n 设计。

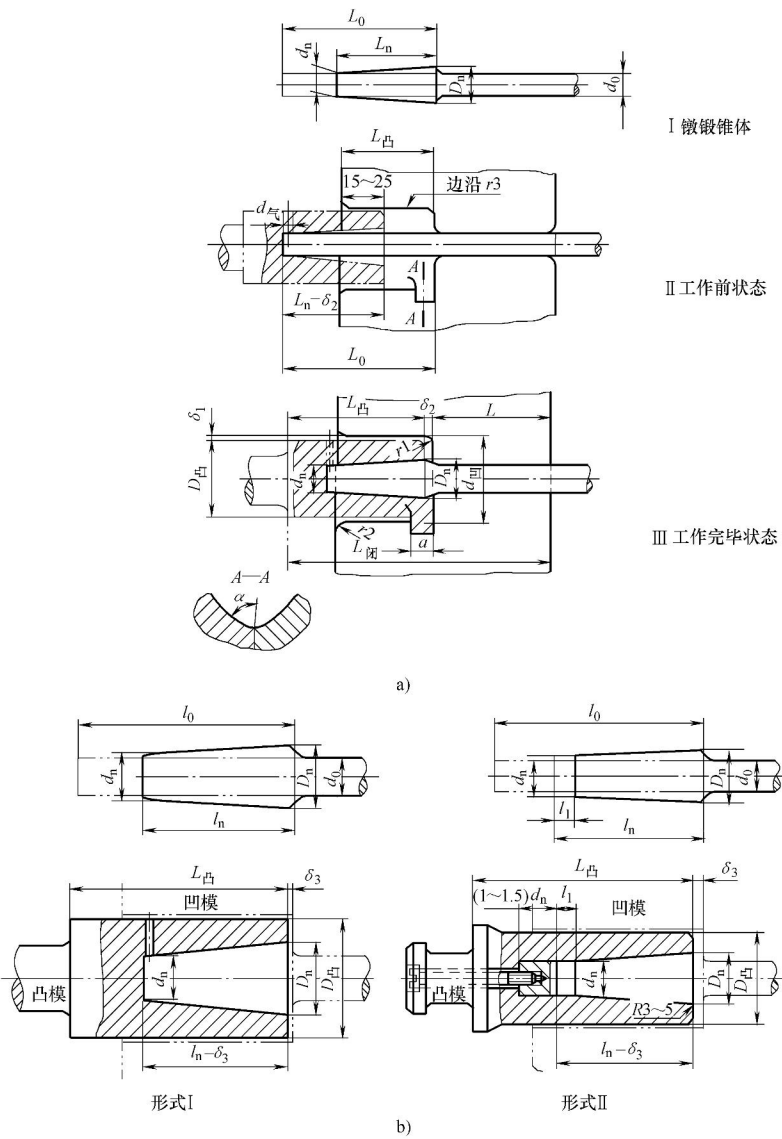


图 5-28 凸凹模工作状态及结构

a) 凹凹模工作状态 b) 凹凸模结构

凸模型槽有两种形式（见图 5-28b）：形式 I 适用于 $\psi \leq 4.5$ 的情况；形式 II 采用调整垫块便于调整，适用于 $\psi > 4.5$ 的情况。

1) 凸模外径 $D_{\text{凸}}$ （见图 5-28）

$$D_{\text{凸}} = D_n + 0.2(D_n + L_{\text{锻}}) + 5$$

2) 凸模长度 $L_{\text{凸}}$ （见图 5-28）

$$L_{\text{凸}} = L_{\text{闭}} - (L + \delta_3)$$

式中 $L_{\text{闭}}$ ——模具闭合长度；

L ——凹模夹紧部分长度；

δ_3 ——凸模与凹模的顶面间隙，按表 5-17 选取。

表 5-17 锻锻型槽间隙值 δ_2 和 δ_3

平锻机公称压力/kN	第一次聚集		第二次聚集		第三次聚集	
	δ_2	δ_3	δ_2	δ_3	δ_2	δ_3
2250 ~ 3150	0.5	3 ~ 4.5	0.4	2	0.3	2
4500 ~ 9000	0.6	4 ~ 7	0.6	3 ~ 4	0.4	2 ~ 3
12500 ~ 20000	0.7	8 ~ 10	0.6	5 ~ 8	0.5	3 ~ 4

2. 凹模型槽

1) 凹模型槽（见图 5-28）直径 $D_{\text{凹}}$

$$D_{\text{凹}} = D_{\text{凸}} + 2\delta_2$$

式中 δ_2 ——凸模与凹模的径向间隙。按表 5-15 选取。

2) 导程长度 $L_{\text{导}}$

在坯料开始变形之前，要求凸模在凹模中有足够的导程，以便获得较好的同心锻粗。

$$L_{\text{导}} = L_0 + L_n + (15 \sim 20)\text{mm}$$

如用前挡板定位时，需保持坯料伸出凹模长度大于 15mm。

如锻锻棒料较长，锻锻工步较多时，为了减小模具尺寸，也可以不需导向部分。

夹紧部分长度 L 见夹紧型槽设计。

3) 氧化皮槽尺寸： $a = 20 \sim 30\text{mm}$ ， $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 。

4) 出气孔直径 $d_{\text{气}}$ ，一般为 $3 \sim 5\text{mm}$ 。

5) 凹模圆角半径，见表 5-18。

表 5-18 凹模圆角半径（单位：mm）

$D_{\text{凹}}$	r_1	r_2	r_3	$D_{\text{凹}}$	r_1	r_2	r_3
< 20	2	2	1	160 ~ 260	5	5	3
21 ~ 80	3	3	2	261 ~ 360	6	5	5
81 ~ 160	5	5	3				

5.3.3 夹紧型槽设计

夹紧型槽常用的有两种形式，一种是平滑式夹紧型槽，另一种是带肋条式夹紧型槽。

1. 平滑式夹紧型槽

平滑式夹紧型槽（见表 5-19），其特点是锻件杆部没有压痕，模具制造简单。这种型槽一般用于杆部表面质量要求较高，不允许有压痕及用后挡板定位的锻件。

平滑式夹紧型槽长度 L 按下式确定：

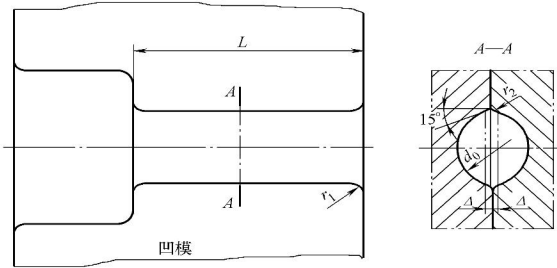
$$L = Kd_0$$

式中 d_0 ——坯料直径（mm）；

K ——系数，按表 5-20 选取。

型槽其他尺寸见表 5-19。

表 5-19 平滑式夹紧型槽尺寸



坯料直径 d_0/mm	10 ~ 19	20 ~ 28	30 ~ 38	40 ~ 48	50 ~ 58	60 ~ 65	70 ~ 75	80 ~ 85	90 ~ 95
Δ/mm	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
r_1/mm	3	3	3	4	5	6	6	8	8
r_2/mm	1	1.5	1.5	2	2.5	3	3	3.5	3.5

注： Δ 值亦可按 $\Delta = 0.01d_0 + 0.1$ 计算求出。

表 5-20 平滑式夹紧型槽系数 K

坯料直径 d_0/mm	10 ~ 19	20 ~ 28	30 ~ 48	50 ~ 65	70 ~ 95	100 ~ 130
系数 K	9 ~ 5	5 ~ 3.8	3.8 ~ 3.3	3.3 ~ 2.8	2.8 ~ 2.5	2.7 ~ 2.4

2. 肋条式夹紧型槽

肋条式夹紧型槽（见表 5-21）的特点是夹紧效果好，夹紧长度比平滑式短，

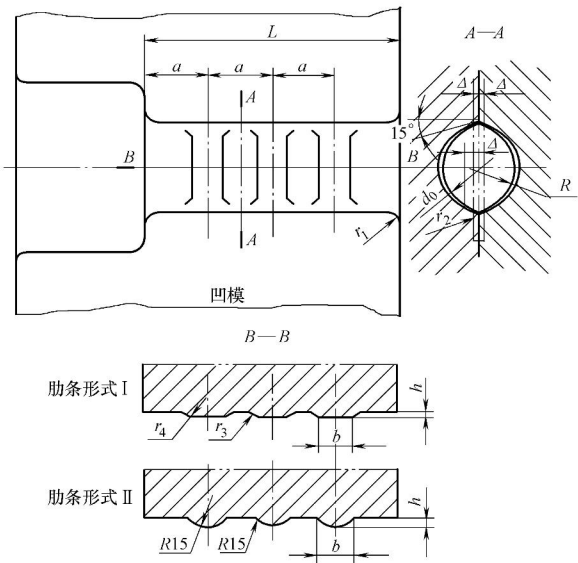
可减少料头损失，但缺点是锻件杆部有压痕。

型槽长度 L 按下式确定：

$$L = Kd_0$$

式中 K ——系数，按表 5-22 选取。

表 5-21 带肋条式夹紧型槽尺寸



平锻机公称压力/kN	Δ	Δ'	h	r_3	r_4	6
2250	0.3	0.7	0.4	3	2	6
5000	0.6	1.1	0.5	4	3	8
8000	0.6	1.1	0.5	5	3	8
12000	0.6	1.2 ~ 1.4	0.6 ~ 0.8	6 ~ 8	4	10

注： r_1 、 r_2 与平滑式夹紧模膛的尺寸相同。

表 5-22 带肋条式夹紧型槽系数 K

坯料直径 d_0 /mm	10 ~ 19	20 ~ 28	30 ~ 48	50 ~ 65	70 ~ 95	100 ~ 130
系数 K	9 ~ 5	5 ~ 3.5	3.5 ~ 2.6	2.5 ~ 2.3	2.3 ~ 2.1	2.2 ~ 1.9

肋条式夹紧型槽的肋条间距离，见表 5-23。

表 5-23 肋条间距离

坯料直径 d_0 /mm	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	> 100
a /mm	25	35	40	45	50

型槽其余尺寸见表 5-19 和表 5-21。

5.3.4 扩径型槽设计

当坯料直径 d_0 小于锻件的孔径 $d_{\text{锻}}$ 时, 为了保证冲穿后剩下的坯料能方便地继续进行模锻, 必须采用扩径型槽进行扩径。型槽形状和尺寸如图 5-29 所示。

扩径部分直径 d'_0 : $d'_0 = d_{\text{锻}} - 0.5\text{mm}$ 。

扩径部分宽度 b : $b = 0.5d_0$, 其中, $d_{\text{锻}}$ 为锻件内孔直径。

5.3.5 卡细型槽设计

当坯料直径 d_0 大于锻件孔径 $d_{\text{锻}}$ 时, 要采用卡细型槽将坯料卡细。卡细型槽形式如图 5-30 所示。

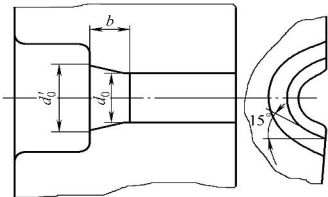


图 5-29 扩径型槽

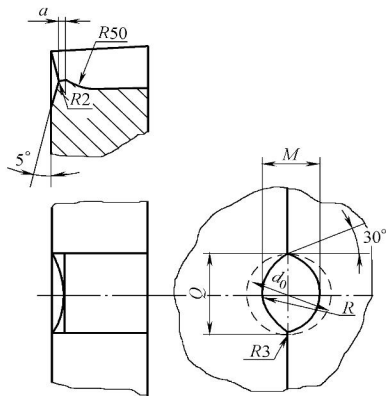


图 5-30 卡细型槽形式

卡细次数由 $d_0/d_{\text{锻}}$ 决定, 可查表 5-24。

表 5-24 卡细次数选定

$d_0/d_{\text{锻}}$	< 1.56	1.56 ~ 2.5	> 2.5
卡细次数	2	3	4

型槽尺寸由表 5-25 和图 5-30 确定, 其中 a 和 R 可按棒料尺寸确定, 也可按设备规格确定 (见表 5-26 和表 5-27)。

表 5-25 卡细型槽尺寸

总次 n 第 k 次	2	3	4
第一次	$M_1 = d_0'$ $Q_1 = d_0$	$M_1 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_0'}{2}\right)$ $Q_1 = d_0$	$M_1 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_0'}{3}\right)$ $Q_1 = d_0$
第二次	$M_2 = d_0'$ $Q_2 = d_0' = M_1$	$M_2 = d_0'$ $Q_2 = M_1$	$M_2 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_0'}{3}\right) \times 2$ $Q_2 = M_1$
第三次	—	$M_3 = d_0'$ $Q_3 = M_2$	$M_3 = d_0'$ $Q_3 = M_2$
第四次	—	—	$M_4 = d_0'$ $Q_4 = d_0' = M_3$

注： d_0' 为卡细后的毛坯直径，图中的 M 和 Q 注上卡细次数即为表中的 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 和 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 。

表 5-26 卡细型槽 a 和 R 尺寸（一）

d_0/mm	< 30	30 ~ 60	60 ~ 90
a/mm	4	5 ~ 6	8
R/mm	1.0	1.5	2.0

表 5-27 卡细型槽 a 和 R 尺寸（二）

平锻机公称 压力 F/kN 尺 寸	2250	5000	8000	12500
a/mm	3	5	5	6
R/mm	5	9	12	17

5.3.6 切边型槽设计

切边型槽是供平锻机上切除锻件飞边用的。切边型槽的设计是以锻件最终成形工步的尺寸为依据，其尺寸见图 5-31。

其尺寸确定如下：

$d_1 = D_{\text{锻}}$

$d_2 = D_{\text{锻}} - \Delta$

式中 Δ ——凸模与凹模的间隙，见表 5-28。

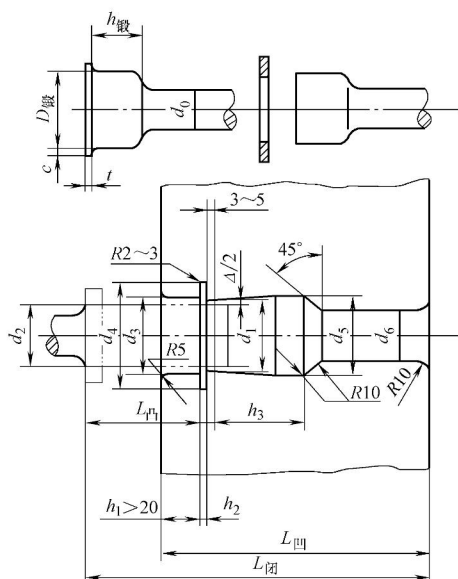


图 5-31 切飞边型槽

表 5-28 凸模与凹模的间隙 Δ

$D_{\text{最}}$	< 30	30 ~ 80	80 ~ 100
Δ	0. 4	0. 6	0. 8

$$d_3 = d_2 + (1 \sim 2) \text{ mm}$$

$$d_4 = D_{\text{锻}} + 2C + (5 \sim 10) \text{ mm}$$

$$d_5 = d_1 + (8 \sim 10) \text{ mm}$$

$$d_6 = d_0 + (1.5 \sim 3) \text{ mm}$$

$$h_1 > 20\text{mm}$$

$$h_2 = (4 \sim 5) t_{\text{mm}}$$

$$h_3 = h_{\text{鍛}} + (10 \sim 15) \text{ mm}$$

5.3.7 穿孔型槽设计

穿孔型槽的作用是使金属未冲穿部分移去以获得锻件上的穿透孔，同时使锻件和原棒料分开。冲孔型槽的尺寸由最终成形工步的尺寸决定。

穿孔型槽的两种形式见图 5-32。

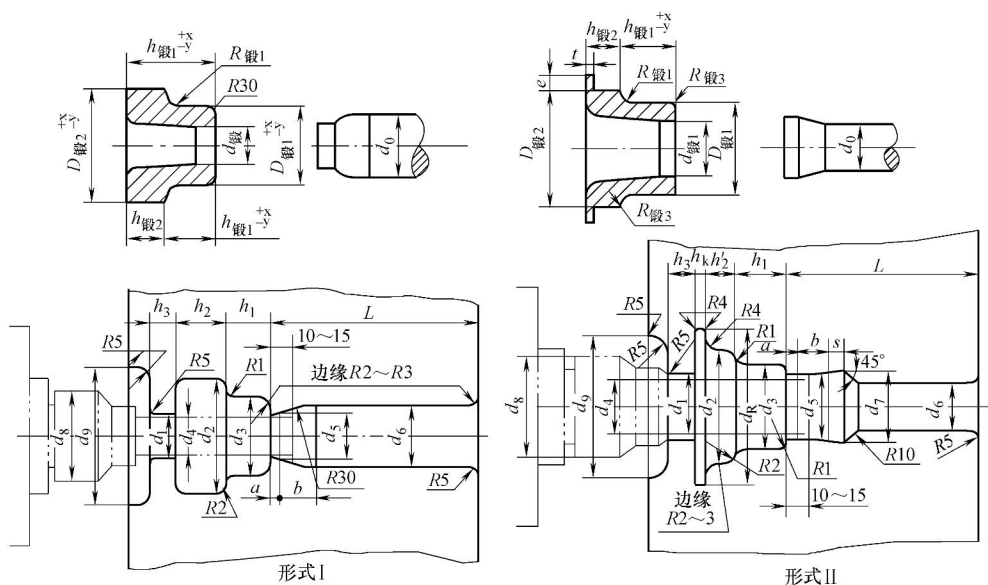


图 5-32 穿孔模槽

其尺寸确定如下；

$$d_1 = d_0 + (5 \sim 10) \text{ mm}$$

$$d_2 = D_{\text{锻}2} + x$$

$$d_3 = D_{\text{锻}1} + x$$

$$d_4 = D_{\text{锻}}$$

$$d_5 = 1.01 d_{\text{锻}} + 0.2 \text{ mm}$$

$$d_6 = d_0 + (1.5 \sim 3) \text{ mm}$$

$$d_7 = d_5 + 8 \text{ mm}$$

d_8 ——冲头进入凹模部分最大外径

$$d_9 = d_8 + (10 \sim 20) \text{ mm}$$

$$d_R = D_{\text{锻}2} + 2C + (5 \sim 10) \text{ mm}$$

$$h_1 = h_{\text{锻}1} + y$$

$$h_2 = h_{\text{锻}2} + (10 \sim 15) \text{ mm}$$

$$h_2' = h_{\text{锻}2} - (3 \sim 8) \text{ mm}$$

$$h_3 \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_R = (5 \sim 10) \text{ mm}$$

$$s = (20 \sim 30) \text{ mm}$$

$$b = (35 \sim 45) \text{ mm}$$

$a = 5\text{mm}$

d_0 为考虑热收缩率后的坯料直径, $d_{\text{锻}}$ 为锻件孔径。

5.3.8 切断型槽设计

切断型槽用来把锻件从棒料上剪断, 如图 5-33 所示; 或用来切掉穿孔后棒料的废芯 (在 $d_0/d_{\text{锻}} > 1.15$ 时采用), 如图 5-34 所示。

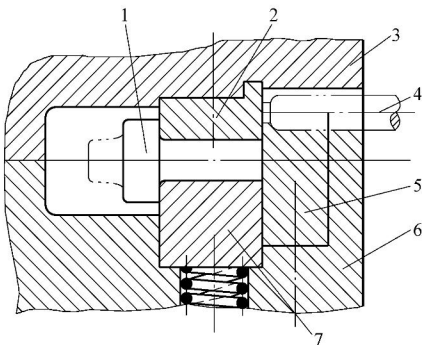


图 5-33 棒料切断型槽

- 1—锻件 2—固定切刀 3—固定凹模
4—长棒料 5—活动切刀
6—活动凹模 7—夹紧凹模

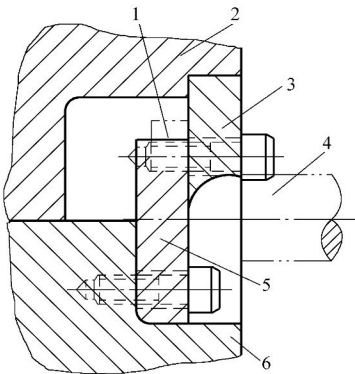
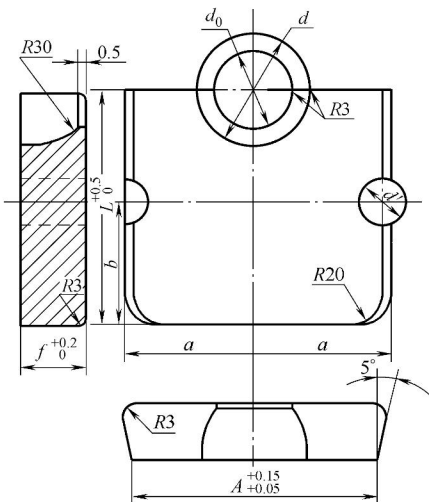


图 5-34 穿孔后棒料的废芯切断型槽

- 1—料芯 2—固定凹模 3—固定切刀
4—长棒料 5—活动切刀 6—活动凹模

固定切刀安装在右 (下) 凹模上, 其结构尺寸见表 5-29。

表 5-29 固定切刀尺寸



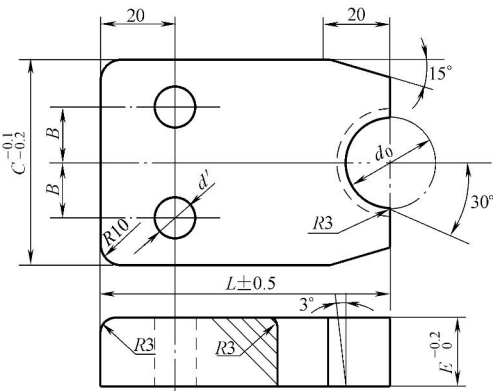
(续)

平锻机公称压力/kN	A/mm	L/mm	f/mm	a/mm	b/mm	d'/mm
2250	60	60	25	32.5	30	13
5000	75	70	25	40	35	17
8000	95	80	30	60	45	17
12500	110	100	30	57.5	50	17

注： d_0 及 d 根据坯料直径及锻件尾部直径确定。

活动切刀安装在左（上）凹模上，其结构尺寸见表 5-30。

表 5-30 活动切刀尺寸



平锻机公称压力/kN	C/mm	L/mm	E/mm	B/mm	d'/mm
2250	50	80	24.5	13	13
5000	60	90	24.5	15	17
8000	75	105	29.5	20	17
12500	90	125	29.5	20	17

注： d_0 为坯料直径。

5.4 平锻模具结构及紧固

平锻机上模锻所用的锻模与锤锻模及其他锻造设备用的锻模在结构上完全不同。平锻模由凸模（冲头）和凹模组成，凹模又分成左右（垂直分模平锻机）或上下两半（水平分模平锻机）。

固定凹模安装在机身右方（下面）的凹模支承座上，在工作中，活动凹模间歇地往复运动。

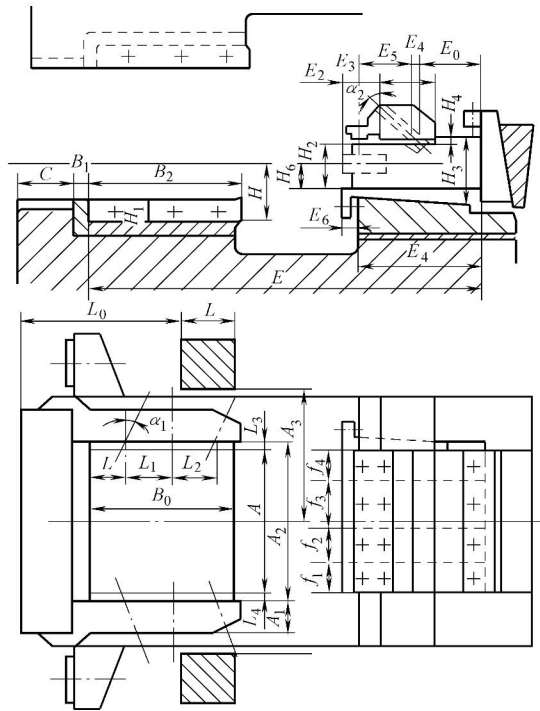
凸模用螺栓和固定盖紧固在凸模固定器上，凸模固定器直接安装在平锻机主滑

(续)

平锻机公称压力 尺寸/ mm 符 号	2250	5000	8000	12000	20000
f_3	200	190	260	415	
f_4	360	435.5	683	834	
f_5	330	410	610	783	
f_6	20	25	25	25	
g	450	560	800	980	
i	75	90	80	100	
j	142	165	340	380	
B	140	180	210	280	320
K_1	25	25	25	25	
K_2	20	35	25	25	
K_3	50	70	110	160	
K_4	55	75	110	160	
K_5	25	45	60	80	
K_6	30	50	60	80	
K_7	60	100	120	155	
K_8	30	50	70	80	
l	320	450	550	660	
l_1	65	110	175	180	
l_2	—	—	95	120	
l_3	—	—	170	215	
M	100D4	120D4	200D4	230D4	254D4
N	195	230	310	340	
P	150	195	140	108	
q	160	210	220	290	
r	—	—	60	58	
s	—	60	70	—	
T	65	59	80	90	
α	—	7°	7°11′	7°	

(2) 水平分模平锻机模具安装空间尺寸见表 5-32。

表 5-32 水平分模平锻机模具安装尺寸



平锻机公称压力 尺寸/ mm 符 号	3150	4500	6300	9000	12500	16000
A	380	450	530	600	720	800
A ₁	420	490	572	660	780	850
A ₂	80	105	110	150	230	325
A ₃	402.5	395	440	560	634.5	765
B ₀	330	435	450	530	400	500
C	130	150	150	180	225	260
B ₁	30	45	80	70	80	80
B ₂	350	460	470	555	430	520
E ₀		210	270 或 260	370	365	410
E	1045 ~ 755	1190 ~ 860	1380 ~ 1020	1690 ~ 1270	1840 ~ 1380	2110 ~ 1570
E ₁	315	390	450	560	600	670
E ₂	—	56 ~ 76	70	90	—	—

(续)

平锻机公称压力 尺寸/mm 符 号	3150	4500	6300	9000	12500	16000
E_3	—	65	100	120	100	120
E_4	—	160	160	140	200	200
E_5	—	—	185	—	230	250
E_6	—	—	—	90	75 ~ 144	120
H	145	170	190	220	250	280
H_1	60	60	75	95	100	120
H_2	120	140	165	200	230	260
H_3	145	—	173	200	235	270
H_4	45	20	10	30	5	10
H_5	—	29	40	45	—	—
H_6	—	70	82.5	97.5	115	130
l	70	104	145 右	150	100	100
l_1	105	146	125	180	200	200
l_2	120	—	125	130	—	—
l_3	21	25	—	30	—	—
l_4	19	—	20	—	—	—
L_0	380	480	550	652.5	745	850
L	130	150	180	215	290	—
f_1	90	90	105.5	113	135	170
f_2	75	122	145	170	150	230
f_3	105	150	174	204	150	230
f_4	110	88	105.5	113	150	170
α_1	25°	25°	25°	25°	0°	25°
α_2	45°	45°	45°	45°	45°	45°

2. 平锻机模具的总体结构

(1) 垂直分模平锻机的模具结构如图 5-35 所示。

平锻模一般是由凸模夹持器 1、凸模 2、凹模 3 和后挡板 4 组成。

凸模夹持器装在平锻机主滑块的凹座中。在凸模夹持器上安装有所需工步的凸模。

凹模分为左、右两块。左凹模装在平锻机的夹紧滑块上，工作时间内凹模靠拢或分离，故又称为活动凹模。右凹模在工作时不运动，故又称为固定凹模。

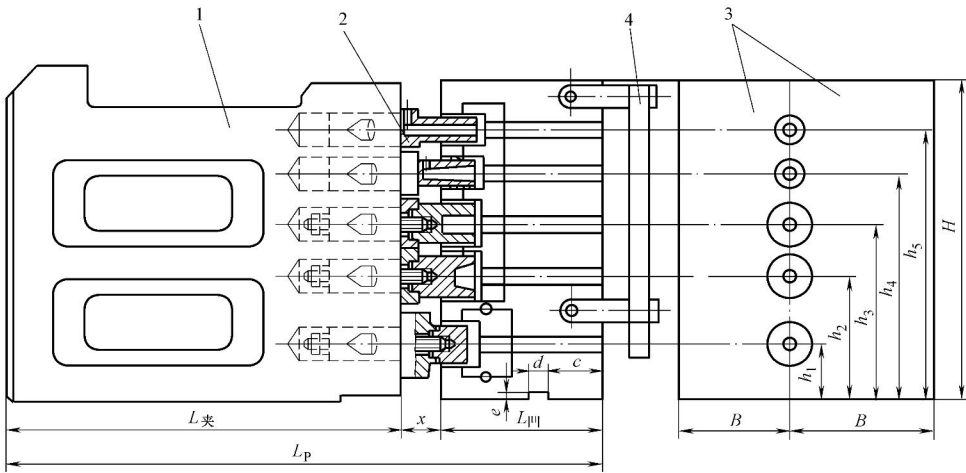


图 5-35 垂直分模平锻机的模具结构（图中尺寸见表 5-40）

1—凸模夹持器 2—凸模 3—凹模 4—后挡板

挡板又分为前挡板和后挡板。前挡板设在平锻机上，主要用来控制变形金属的长度，一般是一根棒料锻若干个锻件时用。后挡板设在模具上（或连接在平锻机上），主要用来控制锻件杆部的长度，一般是一根棒料锻一个锻件时用。在采用机械手操作时，就不需要用前挡板或后挡板，而靠机械手自己定位。

(2) 水平分模平锻机的模具结构如图 5-36 所示。

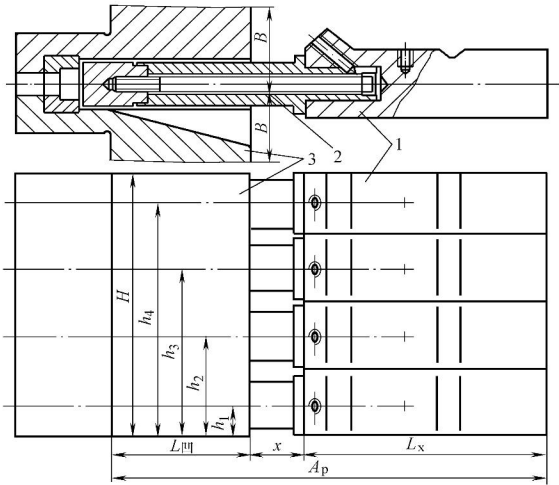


图 5-36 水平分模平锻机的模具结构（图中尺寸见表 5-41）

1—凸模夹持器 2—凸模 3—凹模

3. 凸模夹持器

垂直分模平锻机凸模夹持器常用整体式，紧固形式如图 5-37a 所示。水平分模平锻机凸模夹持器因考虑装模方便，常采用组合式，紧固形式如图 5-37b 所示。

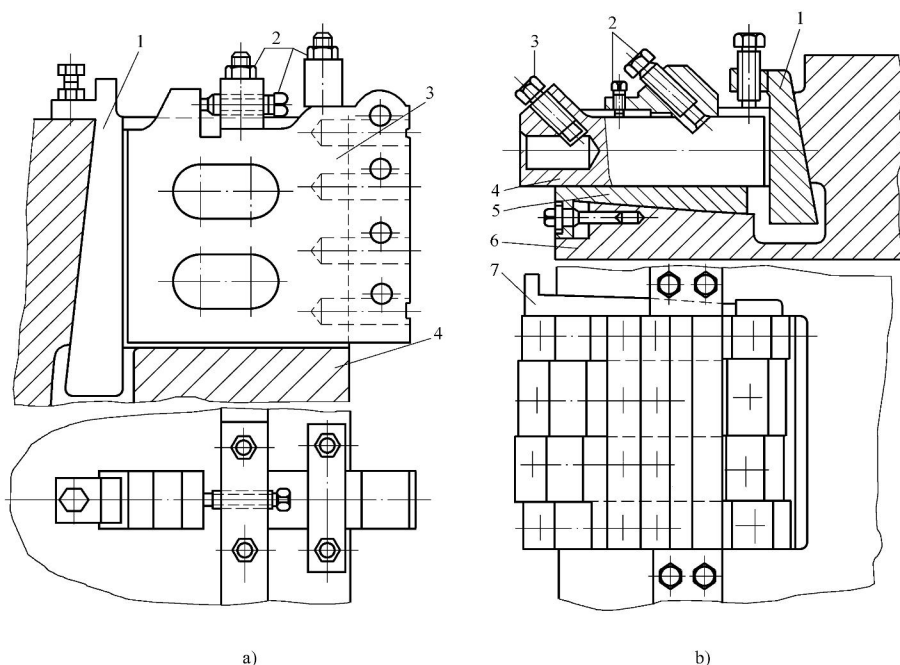


图 5-37 垂直分模平锻机凸模夹持器和水平分模平锻机凸模夹持器

a) 垂直分模平锻机凸模夹持器

1—前后调整斜楔 2—紧固凸模夹持器螺栓

3—凸模夹持器 4—主滑块

b) 水平分模平锻机凸模夹持器

1—前后调整斜楔 2—紧固凸模夹持器螺栓

3—紧固凸模螺栓 4—凸模夹持器

5—上下调整斜楔 6—主滑块

7—左右调整斜楔

凸模夹持器有以下形式：

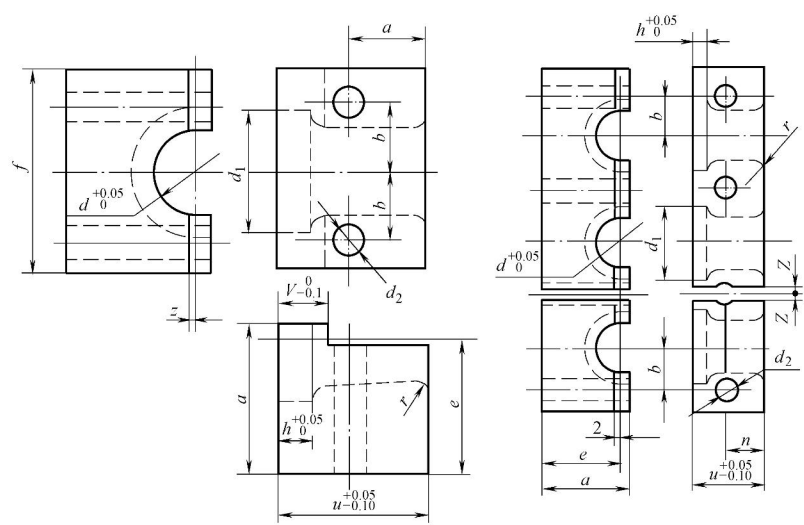
(1) 压盖式凸模夹持器 压盖式凸模夹持器（见图 5-35、图 5-37a）由夹持器本体（见表 5-33）、压盖（见表 5-34）、螺钉（见表 5-35）和螺帽组成。本体材料为 ZG8Cr3，压盖材料为 8Cr3。其特点是紧固凸模比较牢靠，但机械加工比较复杂，容易损坏，装卸比较麻烦。

(续)

尺寸 /mm	平锻机公称压力/kN				尺寸 /mm	平锻机公称压力/kN			
	12000	8000	5000	2250		12000	8000	5000	2250
n	100	80	—	—	b	55	60	45	32
P	230	200	120	100	c	60	52	38	30
P_1	210	160	100	80	d	70	60	60	40
P_2	150	150	100	80	d_1	100	100	90	60
P_3	180	150	100	80	d_2	25	25	25	17
P_4	210	186	160	120	e	815	664	445	365
q	70	66	60	36	f	200	190	45	30
r	6	6	6	4	g	100	90	100	60
r_1	30	25	15	—	h	50	45	35	30
t	45	45	45	30	i	110	100	90	80
u	120	105	95	60	j	145	120	80	85
V	40	30	35	30	K	190	150	100	55
W	15	10	10	10	l	220	180	160	—
X	550	490	455	370	m	120	80	70	—
a	30	25	25	15					

表 5-34 压 盖 尺 寸

(单位: mm)



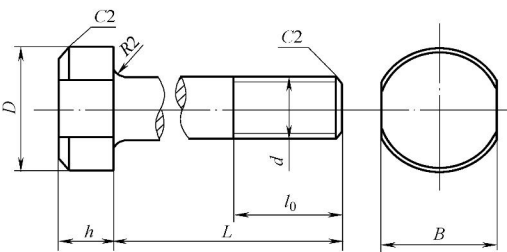
(续)

平锻机公称压力/kN	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>e</i>	<i>r</i>	<i>u</i>	<i>V</i>	<i>Z</i>	<i>h</i>
12000	118	55	60	70	100	25	105	6	120	40	1	30
8000	101	60	52	60	100	25	93	6	105	30	1	25
5000	88	45	38	60	90	25	80	6	95	35	1	25
2250	68	32	30	40	60	17	60	6	60	30	0.5	15

注：尺寸*f*根据实际位置来决定。如果模膛中心距离较小安排不下时，可采用两块压盖共用一个螺钉或两块压盖做成一体。

表 5-35 螺 钉 尺 寸

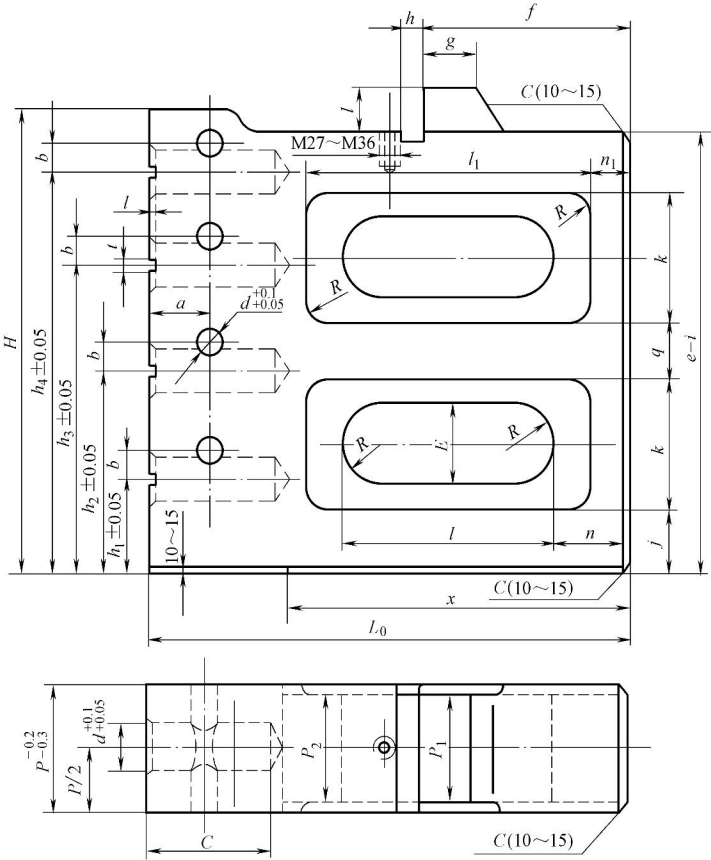
(单位：mm)



d 尺 寸		$M24$	$M16$	d 尺 寸		$M24$	$M16$
D		50	35	l_0	$L = 130$	—	25
h		20	16		$L = 140$	40	—
					$L = 180$	40	—
					$L = 205$	40	—
B		44	29		$L = 230$	40	—

- (2) 插销式凸模夹持器 插销式凸模夹持器由夹持器本体（见表 5-36）、紧固插销（见表 5-37）、螺帽及垫圈组成。本体材料为 ZG45，插销材料为 45 钢。牢固性虽较压盖式和差，但机械加工简单，装换和调控方便。
- (3) 螺柱拉紧式凸模夹持器 螺栓拉紧式凸模夹持器由本体和螺栓组成。这种夹持器制造和装卸都不方便，适用于 2~3 工步的孔类锻件。
- (4) 螺钉顶紧式凸模夹持器 这种夹持器由本体和螺钉组成。虽然紧固凸模不够牢靠，但制造简单，适用于小型设备。

表 5-36 插销式凸模夹持器本体尺寸 (单位: mm)



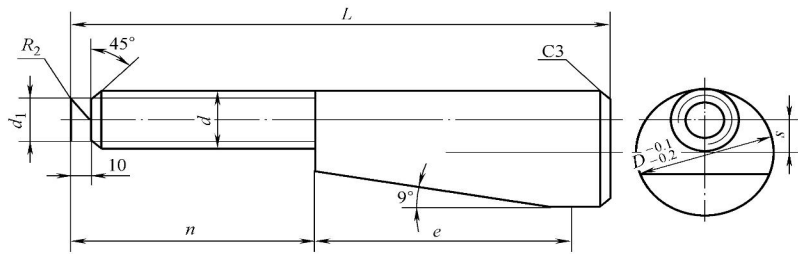
尺寸 /mm	平锻机公称压力/kN								
	12500		8000			5000		2250	
H	858	820	720	660	678	460	514	420	365
L	910	815	711	766	711	567	567	512	512
h_1	175	455	110	80	175	80	70	50	50
h_2	375		290	235	375	235	190	195	130
h_3	575		460	390	575	380	320	340	210
h_4	745		630	545			430		290

(续)

尺寸 /mm	平锻机公称压力/kN				尺寸 /mm	平锻机公称压力/kN			
	12500	8000	5000	2250		12500	8000	5000	2250
<i>a</i>	103	73	57	57	<i>l</i>	300/400	—	—	150/250
<i>b</i>	53	38	34	29	<i>E</i>	150	—	—	80
<i>c</i>	240	200	180	130	<i>n</i>	150	—	—	75
<i>d</i>	90	60	60	40	<i>l</i> ₁	450/550	350/400	200	200/300
<i>d</i> ₁	50	50	40	40	<i>n</i> ₁	75	100	100	50
<i>e</i>	820	660	440	365	<i>P</i>	230	200	120	100
<i>f</i>	400	350	150	100	<i>P</i> ₁	200	170	120	100
<i>g</i>	100	50	50	50	<i>P</i> ₂	200	200	120	100
<i>h</i>	40	40	40	—	<i>q</i>	100	100	80	40
<i>i</i>	80	80	80	65	<i>s</i>	10	10	8	8
<i>j</i>	120	120	80	50	<i>t</i>	15	15	10	10
<i>k</i>	240	180	120	120	<i>x</i>	550	490	455	370

表 5-37 紧 固 插 销

(单位: mm)



平锻机公称压力 <i>F</i> /kN	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>e</i>	<i>n</i>	<i>d</i> ₁	<i>a</i>	<i>d</i>
2250	150	φ40	70	60	φ15	10	<i>M</i> 20 × 2.5
5000	170	φ40	90	60	φ15	10	<i>M</i> 20 × 2.5
8000	250	φ50	120	90	φ20	11.5	<i>M</i> 27 × 3
12500	280	φ50	120	110	φ25	10	<i>M</i> 30 × 3.5

4. 凸模

凸模可分为整体式（见图 5-38）和组合式两种结构（见图 5-39、图 5-40、图 5-41、图 5-42、图 5-43、图 5-44 和图 5-45）。

积聚用凸模，由于模槽尺寸过长，磨损较小，故多用整体式。除此之外，凸模通常都采用组合式。它是由凸模尾柄（紧固在凸模夹持器中）、凸模工作部分和紧固件组

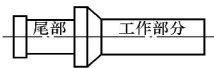


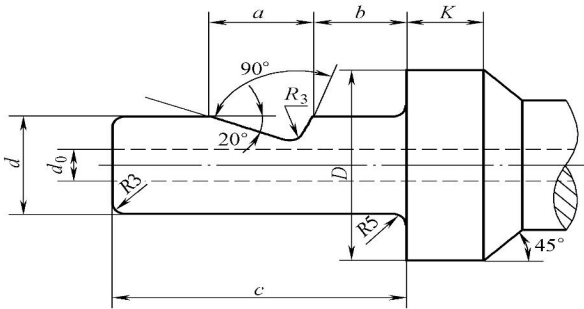
图 5-38 整体式凸模

成。凸模工作部分采用较好的模具钢，磨损后只需更换工作部分，尾柄为普通材料。这样既节省了模具钢，又提高了模具的使用寿命。无论是整体式还是组合式凸模，其尾柄部分的结构要与凸模夹持器相配合。由于凸模夹持器有几种形式，如压盖式凸模夹持器、插锁式凸模夹持器、螺栓拉紧式凸模夹持器、螺钉顶紧式凸模夹持器等，因而凸模尾柄形式也应有以上几种形式相配合。

（1）凸模工作部分尺寸 该尺寸按模槽设计和参考机器安装凸模空间尺寸确定。

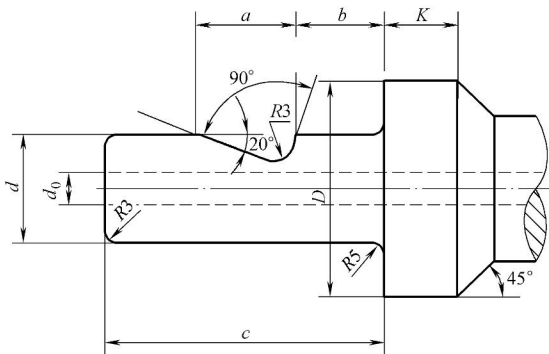
（2）凸模尾柄部分尺寸 表 5-38 为压盖式凸模夹持器所用的凸模尾柄部分尺寸，表 5-39 为插销式凸模夹持器所用的凸模尾柄部分尺寸。

表 5-38 压盖式凸模尾柄部分尺寸



尺寸 平锻机 公称压力/kN	d_1 /mm	d /mm	u /mm	a /mm	K /mm	q /mm	D /mm
12000	99	70	120	30	30	70	100
8000	99	60	105	25	25	66	100
5000	89	60	95	25	25	60	90
2250	59	40	90	15	20	36	60

表 5-39 插销式凸模尾柄部分尺寸



尺寸 平锻机 公称压力/kN	d /mm	a /mm	b /mm	c /mm	d_0 /mm
2250	40	35	38	100	17
5000	50	35	38	130	22
8000	60	45	48	150	28
12500	90	50	78	180	32

注：1. 尺寸 K 按表 5-38 选用。

2. 尺寸 D 设计时确定。

组合式凸模的尾柄部分应和凸模工作部分连接。

(1) 内六方长螺钉紧固的凸模 图 5-39 为其组合式凸模结构。凸模尾柄材料为 40Cr，凸模材料为 8Cr3。

(2) 双头长螺栓紧固的凸模 图 5-40 为其组合式结构。

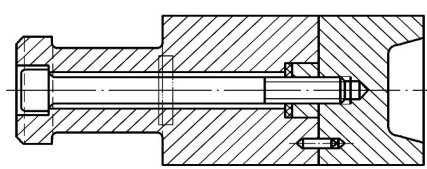


图 5-39 内六方长螺钉紧固组合式凸模结构

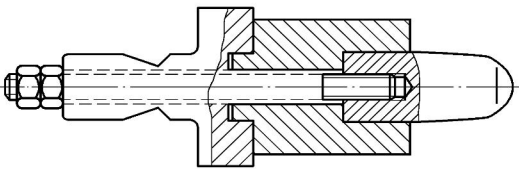


图 5-40 双头长螺栓紧固组合式凸模结构

(3) 斜楔紧固的凸模 图 5-41 为其组合式成形凸模结构。

(4) 大螺母紧固凸模 图 5-42 为其组合式凸模结构。

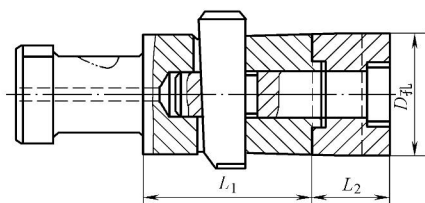


图 5-41 斜楔紧固组合式凸模结构

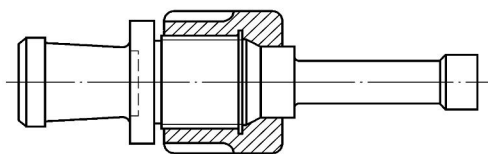


图 5-42 大螺母紧固组合式凸模结构

(5) 螺钉顶紧凸模 其结构见图 5-43。

(6) 压盖紧固凸模 其结构见图 5-44。

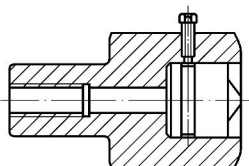


图 5-43 螺钉紧固组合式凸模结构

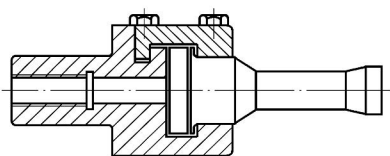


图 5-44 压盖式紧固组合式凸模结构

(7) 内六方螺钉紧固凸模 其结构见图 5-45。

5. 凹模

(1) 凹模尺寸的确定 可参见图 5-35 及图 5-36。

凹模高度 H : 根据锻件所需的工步数, 选用预先设计好的凸模夹持器, 参考机器安装凹模的空间尺寸, 凹模的高度则基本确定。

凹模厚度 B : 对垂直分模平锻机, 应比机器安装凹模空间尺寸小 1~2mm, 以便于加垫片调整凹模夹紧度。对水平分模平锻机, 应与机器安装凹模空间一致, 因为水平分模平锻机凹模夹紧度的调整要由专用机构完成。

凹模长度 $L_{\text{凹}}$ 可按下式确定, 见图 5-35。

$$L_{\text{凹}} = L_p - (L_{\text{夹}} + x)$$

式中 L_p ——模具设计用封闭长度 (mm), 它比设备放入固定楔后的紧闭状态时的最大长度值 a 小 3~5mm, 见表 5-41;

$L_{\text{夹}}$ ——凸模夹持器长度 (mm);

x ——封闭状态下凸模夹持器与凹模之间的间隔 (mm)。一般大于 30mm, 使夹持器及其上所装凸模不与凹模相碰。

表 5-40 为某厂采用的垂直分模平锻机凹模尺寸, 参见图 5-35。

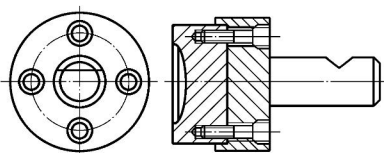


图 5-45 内六方螺钉紧固组合式凸模结构

表 5-40 垂直分模平锻机凹模尺寸 (单位: mm)

平锻机公称 压力/kN	型 槽 数	凹模尺寸			L_p	$L_{夹}$	x	型槽尺寸分配						键槽尺寸		
		B	$L_{凹}$	H				h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	c	d	e
2250	3	138	200	400	742	512	30	50	195	340				70	22	10
	4		200	375		512	30	50	130	210	290					
	4		280	425		422	40	65	170	275	370					
	5		200	400		492	50	70	155	220	285	340				
	6		200	450		482	60	50	120	190	260	330	400			
5000	3	178	300	450	1002	567	135	80	235	380				55	26	10
	3		350	450		567	85	80	235	380						
	4		300	500		567	135	70	190	320	430					
	4		350	500		567	85	70	190	320	430					
8000	3	208	400	680	1201	711	90	175	375	575				101	52	15
	4		350	680		766	85	80	235	390	545					
	4		400	680		766	35	80	235	390	545					
	4		350	720		711	140	110	290	460	630					
	4		400	720		711	90	110	290	460	630					
12500	1	258	560	820	1415	815	40	455						127	52	15
	2		400	820		745	270	175	375							
	3		400	820		745	270	175	375	575						
	4		400	830		910	105	175	375	575	715					

表 5-41 为某厂采用的水平分模平锻机凹模尺寸, 参见图 5-36。

表 5-41 水平分模平锻机凹模尺寸 (单位: mm)

平锻机公称 压力/kN	型 槽 数	凹模尺寸			L_p	$L_{夹}$	x	型槽尺寸分配				
		B	$L_{凹}$	H				h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
3150	3	145	240	380	755	340	175	60	190	320		
	3		220				195					
	3		320				95					
	4		260			400	95	55	130	217.5	312.5	
4500	4	170	290	545	860	510	60	75	199	323	447	
6300	3	190	375	565	1020	600	45	82.5	227.5	372.5		
	4		290	600			130	82.5	227.5	372.5	447	
	4		285	570			135	75	220	365	517.5	
	4		290	565			130	82.5	227.5	372.5	510	
9000	3	220	400	665	1270	760	110	110	280	450		
	4		340	710			170	110	280	450	620	
	4		340	700			170	110	270	440	610	
	4		350	700			160	100	270	440	610	
	4		340	750			170	120	290	460	630	
	5		375	750			135	95	235	375	575	655
12500	4	250	350	860	1380	840	180	130	350	530	730	
	5		370	870			170	270	420	570	720	
	5		360	840			180	270	420	570	720	

(2) 凹槽结构 平锻机凹模有三种结构形式：整体式凹模、组合式凹模和镶块式凹模。

为了节省模具钢和提高平锻模工作寿命，除大型平锻件外，一般较少采用整体式凹模，通常采用组合式或镶块式凹模。组合式的方模块加工较简单，可以在四面都制出模槽，这样安装方便，并延长使用寿命。为了节约模具钢及易于加工，凹模易损部分尽量做成采用镶块结构，以适用于大批量生产。型槽工作部分尺寸参见有关资料。图 5-46 为用内六角螺钉紧固凹模镶块的结构形式，图 5-47 为用长螺栓拉紧凹模镶块的结构形式，图 5-48 为用内六角螺钉从凹模镶块背面紧固的结构形式。

型槽在凹模模块上布排时，负荷最大的终锻型槽应尽可能接近平锻机主滑块中心线；为了便于操作，型槽顺序排列；切刀边型槽可位于最上位置。

6. 挡板

(1) 前挡板 由平锻机主滑块带动，挡料距离可调，适用于一坯多件模锻以及伸出凹模长度较大的锻件。

(2) 钳口挡板（见图 5-49）后挡板。锻件杆部夹紧在钳口挡板内，放入凹模挡板槽内定位。适用于杆部较短、坯料前端伸不出凹模的杆类锻件。

(3) 横挡板（见图 5-50）后挡板。锻件杆部用夹钳夹紧，支承在横挡板上定位，适用于杆部后端伸出凹模不多的杆类锻件。

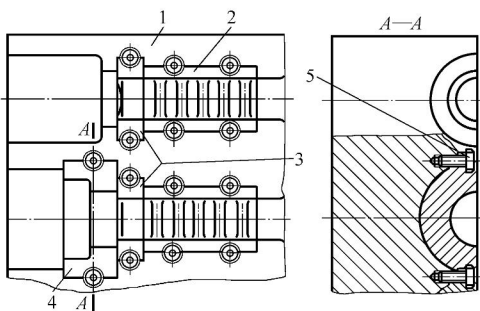


图 5-46 用内六角螺钉紧固凹模镶块

1—凹模体 2—夹紧型槽镶块 3—卡细型槽镶块
4—成型型槽镶块 5—螺钉

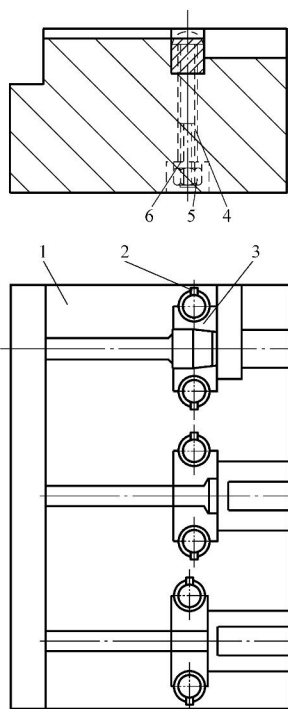


图 5-47 用长螺栓拉紧凹模镶块

1—凹模体 2—圆柱销 3—凹模镶块
4—螺栓 5—螺帽 6—弹簧垫圈

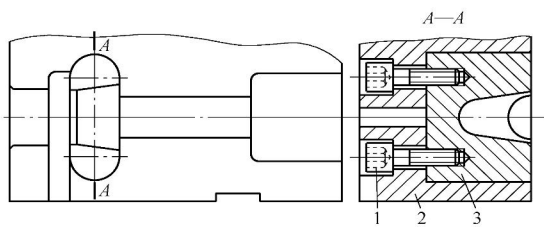


图 5-48 背面紧固凹模镶块

1—螺钉 2—凹模体 3—方形镶块

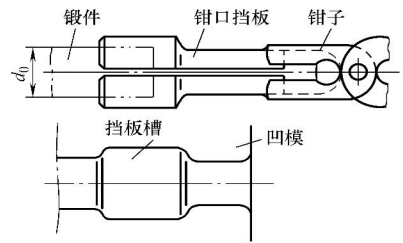


图 5-49 钳口挡板

(4) 框架式挡板 (见图 5-51) 锻件杆部后端支持在框架可调螺钉上, 适用于杆部后端伸出凹模不大于 500mm 的长杆锻件。

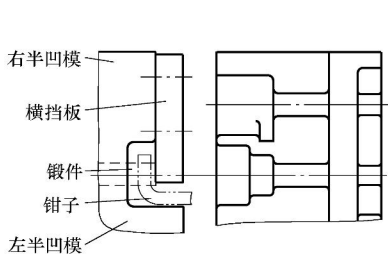


图 5-50 横挡板

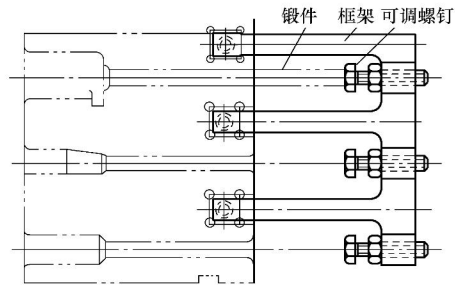


图 5-51 框架式挡板

(5) 支架式挡板 (见图 5-52) 适用于杆部后端伸出凹模大于 500mm 的特长杆锻件。

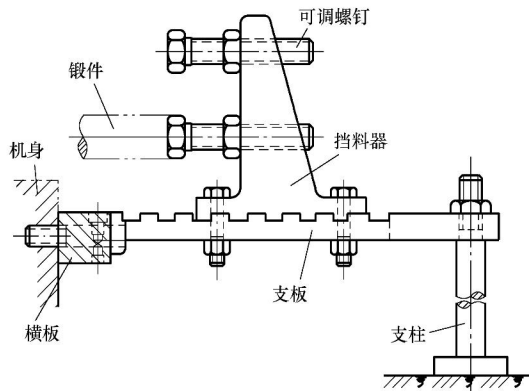


图 5-52 支架式挡板

第6章 锻后工序

经制坯、预锻和终锻成形后的锻坯，必须经过相应的切边、冲孔、热处理、校正、清理和精压等后续工序后，才能成为符合锻件图要求的锻件。后续工序的选择按锻件图的技术要求确定。

6.1 切边和冲孔模设计

模锻锤和压力机上开式锻模中模锻出的锻件都是带有飞边的，某些带孔锻件还有冲孔连皮，通常模锻后采用冲切法去除飞边和冲孔连皮。中小型锻件通常在切边压力机的模具上切边和冲孔，大型模锻件则在切边油压机的模具上切边和冲孔。例如采用机械手进行热模锻压力机上模锻生产时，可将切边冲孔与模锻设计在同一压力机的锻模上。

6.1.1 切边冲孔设备

1. 切边压力机

切边压力机主要是对中小型锻件进行热切边或冲孔连皮的设备，其传动原理与热模锻压力机基本相同。各主要零部件的材料与其他曲柄压力机（热模锻压力机、平锻机）基本相同，由床身、曲柄连杆机构、传动部分、离合器、平衡器和控制系统等组成。操作是用电气—压缩空气系统操作电钮或脚踏开关来实现的，一般都可以进行单次行程、连续行程和调整（寸步）行程。大、中型切边压力机都有超负荷保护装置，一般常用的是破坏式（保险块）和液压式两种。

切边压力机的外形见图 6-1。其结构形式一般分为开式和闭式两种，闭式切边压力机分为闭式单点切边压力机和闭式双点切边压力机。

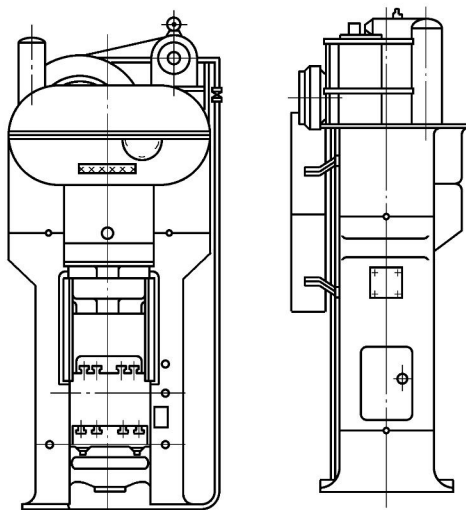


图 6-1 切边压力机

切边压力机的技术规格见表 6-1。

表 6-1 闭式单双切边压力机基本参数

公称压力/kN	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500
公称压力行程/mm	12	12	14	14	16	16	16	18	18	20
滑块行程/mm	200	200	250	315	315	315	400	400	400	500
滑块行程次数/(次/min)	45	45	40	40	35	35	28	28	20	20
最大装模高度/mm	410	410	540	540	620	620	620	700	700	880
装模高度调节量/mm	100	100	120	120	140	140	140	160	160	180
滑块底面前后尺寸/mm	800	800	1000	1000	1100	1100	1250	1450	1450	1700
工作台板前后尺寸/mm	950	950	1150	1150	1250	1250	1400	1600	1600	1850
工作台板左右尺寸 不小于/mm	单点	750	750	900	900	1100	1100	1300	1300	1500
	双点	1250	1250	1550	1550	1850	1850	2150	2150	2500

压机工作台板与切边凹模的紧固选用 T 形槽，滑块与切边冲头的紧固选用燕尾槽和两条 T 形槽。

切边压力机的特点是速度快、生产率高、振动较小、模具寿命较长，但制造大公称压力的设备成本较高，操作空间和行程与切边液压机相比较小。

2. 切边液压机

切边液压机主要是配合大型模锻锤（10t、16t）和较大的对击锤（25t 以上）进行热切边或冲孔连皮的设备，另外也可进行弯曲、成形或浅拉伸等工作，如图 6-2 所示。我国切边液压机常用的工作介质是 20#液压油。

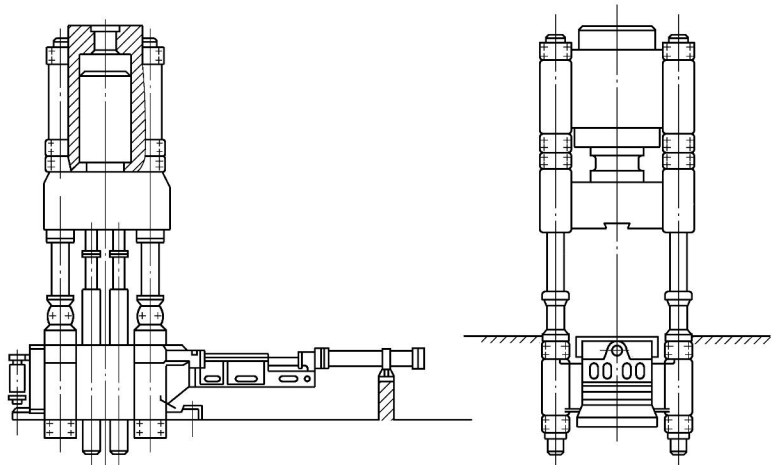


图 6-2 切边液压机

切边液压机的结构形式主要是三梁、四柱框架结构。该设备主要由本体部分、液压管道部分、操纵系统和泵房等组成，其工作原理与模锻液压机相同。

切边液压机的主要技术参数见表 6-2。

表 6-2 切边液压机主要技术规格

公称压力/kN		10000	20000	31500	50000	80000
活动横梁最大行程/mm		800	900	1000	1250	1600
最大净空距/mm		1000	1800	2200	2700	3000
工作台尺寸	B/mm	1400	1600	2000	2500	3000
	L/mm	1800	2500	3000	4000	5000
回程缸公称压力/kN		1000	2000	3200	5000	8000
空行程速度/（mm/s）		200	150	150	150	150
工作行程速度/（mm/s）		15	10	10	10	10
回程速度/（mm/s）		150	100	100	100	100

该设备的操作是通过操纵台的电钮来控制液压系统的换向阀而实现的。根据实际的生产需要，该设备可实现调整（寸步）行程、单次行程或自动行程。其工作过程是活动横梁快速下降，当下降到快与锻件接触时，活动横梁慢速下降（提升缸内排油节流）与锻件接触，然后加压切边，切完边后活动横梁向上回程返回到原始位置，为下次切边作好准备。

切边液压机的特点是：制造比较容易，成本较低，操作空间较大，工作行程较大，生产安全可靠，不会出现闷车损坏设备，生产中不易出现故障，维修量较小，但由于速度较慢，模具寿命较短，一般只在要求切边压力大于 10000kN 时才选用。

6.1.2 切边模

模锻件的飞边切除分为冷切和热切两种。

热切是模锻后利用锻造余热立即进行，切、冲设备与模锻设备布置在同一机组内，适用于大中型锻件、高碳钢高合金钢锻件及切边后需热校正或热弯曲的锻件。冷切则是在模锻之后，集中在常温状态下进行，其优点是劳动条件好、生产率高、切边时锻件走样小、凸凹模的调节和修整比较方便；缺点是所需设备公称压力较大，锻件易产生裂纹，适用于中小型锻件、有色金属锻件、低碳钢锻件和一模多件锻件。中碳低合金钢锻件应在锻件热处理（正火）后冷切边。

切边时锻件放在凹模孔口上，切边凸模压在锻件上，在凸模的推压下，锻件周围的飞边在切边凹模刃口的作用下被剪切与锻件分离。由于凸凹模之间存在间隙，

在剪切的过程中还伴随有飞边弯曲、拉伸的现象。切边凸模一般只起推动锻件的压力传递作用，而凹模的刃口则起剪切作用。

1. 切边凹模与凹模底座

切边模一般由切边凹模、切边凸模、凹模底座、凸模座、卸飞边装置组成（见图 6-3）。

（1）切边凹模 切边凹模有整体式（见图 6-4）和组合式（见图 6-5）两种。

1) 整体式凹模。采用较少，主要用于中小型锻件，特别是形状简单、具有对称性的锻件。

2) 组合式凹模。应用广泛，其制造比较容易，热处理时变形小，可避免裂纹，便于磨修调整更换。组合式凹模适用于长轴类和复杂形状锻件，分块应便于制造，磨损后可以调整和局部更换。对组合式凹模而言，分块位置非常重要，其最适当的锻件图形位置分段的原则是保证复杂修边轮廓在各个方向上都能调整，图 6-6 为常见凹模分块方式。图 6-5 为分成三块的汽车连杆切边凹模，由于叉形舌部切边厚度大，三面受热温度高，最易磨损，因此将它单独分成一块，便于磨损修磨后可以向前调整，如果磨损过多就更换一块，即可恢复原来尺寸。

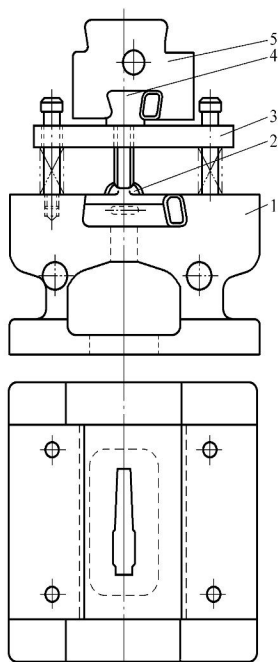


图 6-3 切边模示意图

1—凹模底座 2—凹模 3—卸飞边装置
4—凸模 5—凸模座

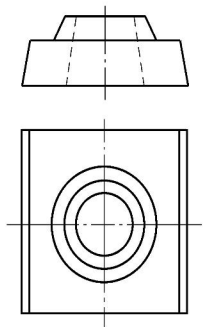


图 6-4 整体式凹模

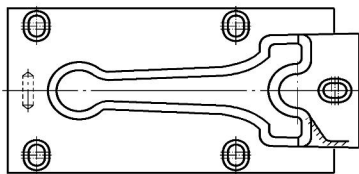


图 6-5 组合式凹模

为了保证复杂修边轮廓在各个方向上都能调整，采用由三块或更多块数组成的用螺钉固紧的凹模（图 6-5），凹模上的螺钉孔做成椭圆形，其长轴线位于凹模块

接合的方向以供调整用。凹模块以制动螺钉互相压紧固定，并在下模座壁上做出长度为 $1.5d$ 的制订螺钉孔。

(2) 凹模刃口及尺寸 凹模刃口轮廓线按锻件图分模线的轮廓线制造。热切刃口轮廓尺寸根据切边温度按热，按热锻件图配制（细长轴锻件冷缩率按 $1\% \sim 1.2\%$ ）；冷切刃口轮廓尺寸则按冷模锻件图配制。如果凹模与锻件配合很紧，则锻件放入凹模困难，切边时锻件上的一部分敷料会与飞边同时切掉，并常引起锻件翘起或产生飞刺；如果凹模与锻件之间空隙太大，则切边后锻件上仍残留上翘的飞刺，增加磨飞刺的工作量。

凹模刃口的形状主要有：

1) 直刃口（见图 6-7a）用于整体式凹模，当刃口磨损后，将其顶面磨去一层，便可恢复锋利，刃口轮廓尺寸仍保持不变，模具修理方便，但切边力较大。一般用于圆形锻件和整体式凹模。

2) 斜刃口（见图 6-7b）用于组合凹模，斜刃口，切边时省力，便于用插床加工刃口，但刃口尖角易磨损，一般用于组合式凹模。磨损后刃口轮廓尺寸扩大，可用堆焊方法补修，或磨去一层重新调整。

3) 堆焊式刃口（见图 6-7c）可降低模具成本。

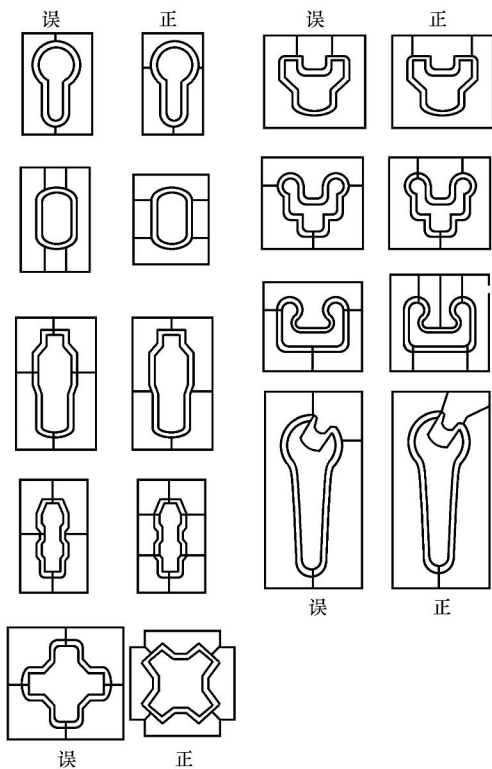


图 6-6 常见凹模分块方式

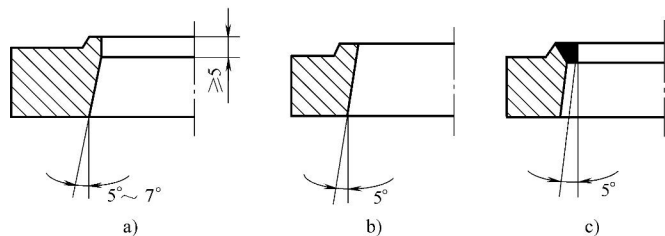


图 6-7 凹模刃口形状

a) 直刃口 b) 斜刃口 c) 堆焊刃口

刃口下部有 5° 斜度的通孔，称为落料孔，用以保证切边后锻件自由落下（见图6-7）。凹模的结构见图6-8，其尺寸的具体数值查表6-3。为使锻件能平稳地放在凹模孔口之上，并减少刃口修复时的磨削工作量，通常将刃口顶面做成凸台形式。凸台宽度 L 应比飞边桥部宽度略小些，凸台高度 h 随飞边桥部高度而定，一般取 $h = 10 \sim 15\text{mm}$ 。为了便于锻件定位及修磨刃口，凸台宽度 L 应小于飞边桥部宽度。

表中 $B_{\min}$ 为最小壁厚， B_1 为有销钉孔的模壁厚度， h 为台阶高度， $H_{\min}$ 为凹模的最小高度， E 等于（或小于）终锻型槽至钳口的距离， L' 等于飞边槽桥部宽度 b 或 $b - (1 \sim 2)$ mm。

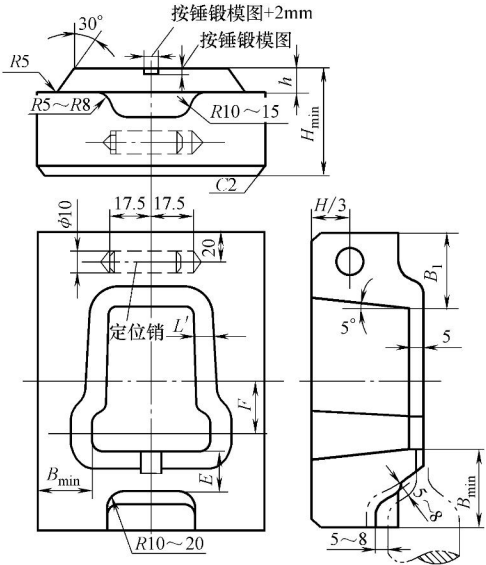


图 6-8 切边凹模的结构

表 6-3 切边凹模的尺寸

飞边厚度	$H_{\min}$	h	B_1	$B_{\min}$	备 注
<1.6	60	10	35	30	1000kN 切边压力机
2~3	55	12	40	35	3150kN 切边压力机
>4	60	15	50	40	3150kN 切边压力机

- 注：1. 定位尺寸 E （或横向定位尺寸）系根据锤锻模终锻型槽与键槽、燕尾中心线的相应位置而定，一般情况下尺寸应相等。
2. E 应等于（或小于）终锻型槽前端至钳口的距离。
3. 定位销 $\phi 10 \times 30\text{mm}$ 。
4. L' 等于飞边槽桥部宽度 b 或 $b - (1 \sim 2)\text{mm}$ 。

(3) 凹模固定

1) 直接紧固。当用1000kN以下的切边压力机切边时，可将凹模用螺栓压板直接紧固在压力机工作台上，如图6-9所示。这种形式结构简单，调整方便。

2) 凹模底座紧固。整体凹模或由两块组成的凹模一般用楔铁紧固在凹模底座上，楔铁紧固方法简单而牢固（见图6-10）。三块以上的组合凹模多用螺钉紧固方法于凹模底座上，以便于调整凸凹模的

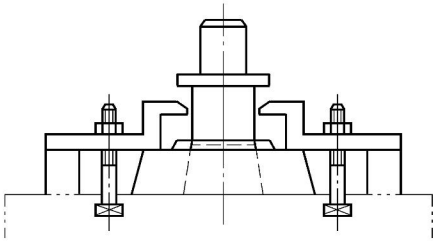


图 6-9 凹模直接紧固在压力机工作台上

用两块矩形垫块支承凹模，再用螺栓压板紧固的高模座；图 6-14 为用钢材焊接而成的高模座，模座上开有 T 形槽。这两种结构简单，调整方便，适用于多品种小批量的生产。图 6-13 为铸钢高模座，夹持可靠，但不便调整，常用于大批量生产。

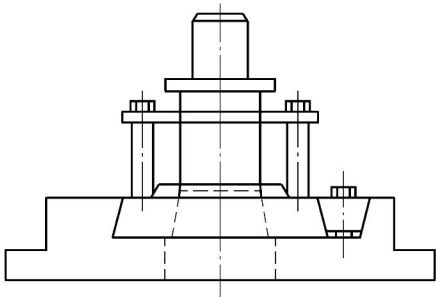


图 6-12 低模座

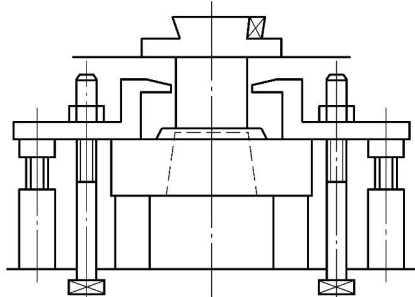


图 6-13 垫块支承高模座

凹模底座一般作成标准件，各工厂大多有自己的标准。

2. 切边凸模及上模座

(1) 切边凸模 随着凸模下压，凹模刃口切入飞边，使飞边与锻件分离。切边凸模起着传递压力的作用，所以要求凸模与锻件有一定的接触面积（推压面），其形状应与锻件相应处大体吻合。为防止锻件在切边时局部受压而产生弯曲、扭曲和表面压伤，在锻件过渡断面处留出间隙 Δ （见图 6-15）， Δ 值等于锻件相应处水平尺寸正偏差的一半加 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ，同时也可按表 6-6 确定。

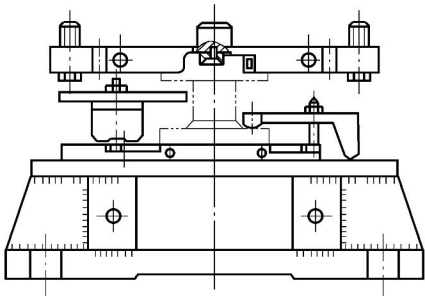


图 6-14 焊接结构高模座

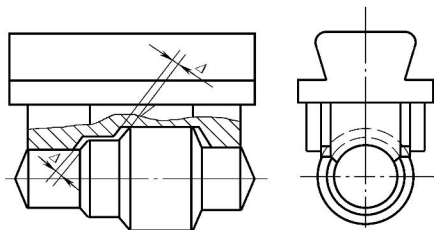


图 6-15 台阶轴的切边凸模与锻件间隙

表 6-6 切边凸模与锻件间隙 Δ

压力机公称压力/kN	500 ~ 600	2000 ~ 3500	5000 ~ 10000
Δ/mm	1 ~ 1.5	1.5 ~ 2	2 ~ 2.5

凸模与锻件的接触面形状可以简化（见图 6-16），在保证切边时锻件变形不超

标的情况下，应选锻件形状简单的一面与凸模接触，同时压凹处可简化为平面。

(2) 切边凸凹模之间的间隙 多数情况下，切边凸模要进入凹模，切边凸凹模之间的应当有适当的间隙 δ 。由于刃口设置在凹模上，凹模按锻件轮廓线制造，因而凸凹模的间隙靠减小凸模尺寸来获得。为了便于模具调整，凸模与凹模之间的间隙靠移动模座来调整。沿整个切边轮廓线间隙应按最小值取成一致，如图 6-17 所示。图 6-17 I 和 II 中的间隙可从表 6-7 查得，图 6-17 III 的间隙均取 $\delta = 0.5\text{mm}$ 。在实际生产中常按切边压力机的公称压力决定，见表 6-8。

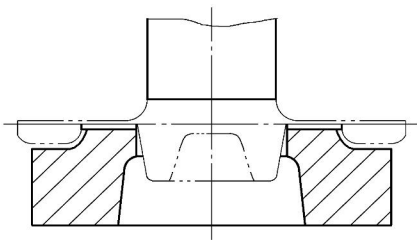


图 6-16 锻件承压面的选取

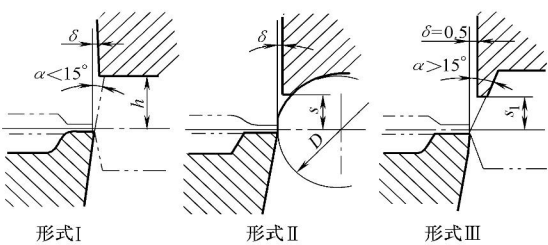


图 6-17 切边凸模与凹模的间隙

表 6-7 切边凸凹模之间的间隙 δ (单位: mm)

形式 I		形式 II	
h	δ	D	δ
小于 10	0.5	小于 30	0.6
10 ~ 19	0.8	30 ~ 48	0.8
19 ~ 24	1.0	48 ~ 59	1.0
24 ~ 30	1.2	59 ~ 70	1.2
大于 30	1.5	大于 70	1.5

表 6-8 切边凸模与凹模的间隙

切边压力机公称压力/kN	δ/mm
1600 ~ 2500	0.5 ~ 0.8
3160 ~ 5000	0.8 ~ 1.2
10000	1.2 ~ 1.5

凸模下端不可有尖角，应从 S 和 S_1 高度处削平（见图 6-17 中形式 II 和形式 III），使凸模下端削平后的宽度对小型锻件为 1.5 ~ 2.5mm，对中型锻件为 2 ~ 3mm，对大型锻件为 3 ~ 5mm。

(3) 凸模紧固 凸模紧固的方式有两大类：

- 1) 用键及螺钉固定在模座上（见图 6-18a）。
- 2) 用楔固定在模座上（见图 6-18b），凸模与模座连接的有关尺寸见表 6-9。

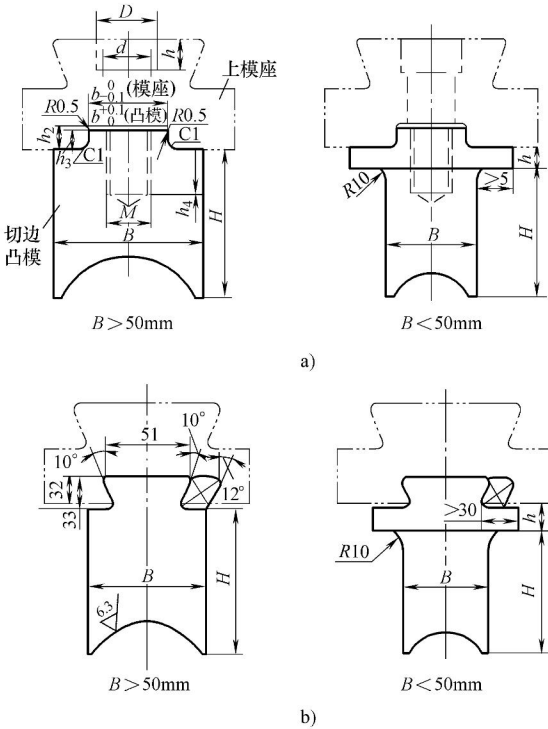


图 6-18 凸模的上模座固定
a) 键及螺钉固定 b) 楔固定

表 6-9 凸模与模座连接的有关尺寸 (单位: mm)

压力机公称压力/kN	M	D	d	h_1	h_2	h_3	h_4	b	h
<3150	16	26	17	>18	7	6	35	25	15
>3150 ~ 6300	20	32	21	>22	10	8	45	32	20
>6300 ~ 12500	24	38	25	>26	12	10	55	40	25

当压力机闭合高度比较小时，凸模直接紧固在压力机滑块上。图 6-19a 用楔和键定位，用于紧固大型锻件的切边凸模；图 6-19b 用螺栓和压板定位，用于紧固特大锻件的切边凸模；图 6-19c 是将凸模模柄紧固在滑块上，用于紧固中小锻件的切边凸模。

对于中小型锻件，在简单修边模的凸模上采用上模座，这样可以防止凸模过高而导致凸模不稳固，同时碳钢制造的上模座可以节约高长凸模的模具钢用量。同样

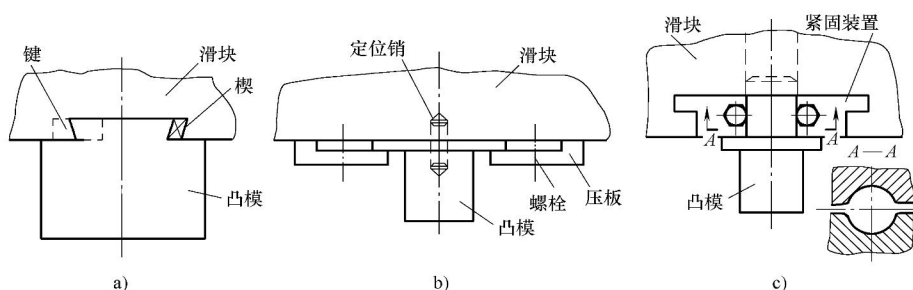


图 6-19 凸模直接紧固在滑块上

凸模座也作成标准件，各工厂大多有自己的标准。

(4) 凸模高度 凸模的高度由压力机的装模高度 H 决定。还应考虑切飞边时有足够的切移量 e ，即从凸模接触锻件时起到行程结束，凸模推压锻件下行足够的距离，才能将飞边从锻件上切掉。压机的装模高度可通过压机连杆上的螺钉进行调整，所以有最大装模高度 $H_{\max}$ 和最小装模高度 $H_{\min}$ 。为使切边模安装后向上和向下都能有一定的调节余地，计算凸模高度时，装模高度 H 取在 $H_{\max}$ 和 $H_{\min}$ 之间。

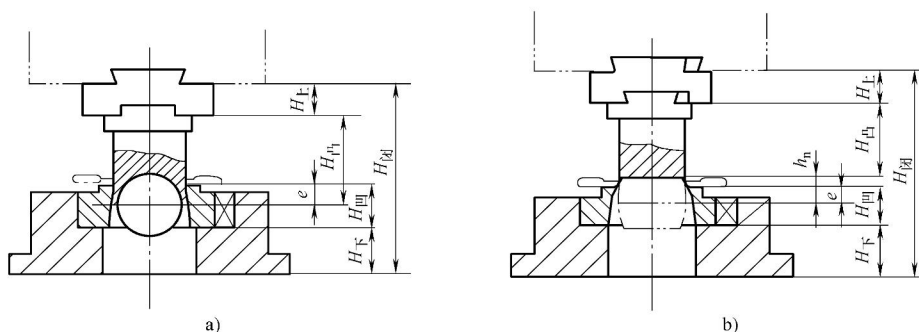


图 6-20 凸模装模高度的计算

a) 凸模进入凹模 b) 凸模不进入凹模

切边结束后，凸模处于最低位置时，模具的总高度称为模具闭合高度 $H_{\text{闭}}$ ，如图 6-20 所示。模具闭合高度与压力机的封闭高度应满足：

$$H_{\min} - H_{\text{垫}} + (15 \sim 20) \text{ mm} \leq H_{\text{闭}} \leq H_{\max} - H_{\text{垫}} - (15 \sim 20) \text{ mm}$$

式中 $H_{\min}$ ——压力机最小封闭高度；

$H_{\text{垫}}$ ——压力机垫板厚度；

$H_{\max}$ ——压力机最大封闭高度。

当切边模设有卸飞边装置时， $H_{\text{闭}}$ 应取较大值。

$H_{\text{闭}}$ 确定后, 便可计算出凸模高度 $H_{\text{凸}}$, 计算分两种情况:

1) 当滑块到下死点时, 凸模进入凹模才能将飞边切净 (见图 6-20a), 凸模高度为:

$$H_{\text{凸}} = H_{\text{闭}} - (H_{\text{上}} + H_{\text{凹}} + H_{\text{下}}) + e$$

2) 当滑块到下死点时, 凸模不进入凹模也能将飞边切净 (见图 6-20b), 凸模高度为:

$$H_{\text{凸}} = H_{\text{凹}} - (H_{\text{上}} + H_{\text{凹}} + H_{\text{下}} + h_n) + e$$

式中 $H_{\text{闭}}$ ——模具闭合高度;

$H_{\text{凹}}$ ——凹模高度;

$H_{\text{上}}$ ——上模座高度;

$H_{\text{下}}$ ——下模座高度;

h_n ——凸模下端至锻件分型面的距离, 一般 $h_n > (6 \sim 8)h_f$ 时, 凸模不进入凹模也能将飞边切净 (h 为飞边桥部高度);

e ——切移量, 即凸模推锻件下行的距离, 一般 $e = (3 \sim 5)h_f$, 就可将飞边切净。

3. 切边模压力中心

切边时合力的作用点称为切边模的压力中心, 此中心应保证与压力机滑块中心线重合。切边的压力中心不同于终锻的型槽中心, 它是按剪切周边长度来决定的。对于平面图为对称的锻件 (如圆形、方形、三角形等), 按几何中心即可求得压力中心; 对于平面图为非对称的锻件, 可将锻件水平面上的投影外形划在硬纸板上, 剪下后按假定的中心穿线, 反复试穿几次, 直至吊线时纸板为水平状态为止。这种方法虽不够准确, 但比较简便。

4. 卸飞边装置

在凸模和凹模之间的间隙很小, 切边时凸模又进入凹模中的情况下, 切边后飞边常卡在凸模上不易除去。所以当冷切 $\delta < 0.5\text{mm}$ 和热切 $\delta < 1\text{mm}$ 时, 就需在切边模上设卸飞边装置 (见图 6-21)。

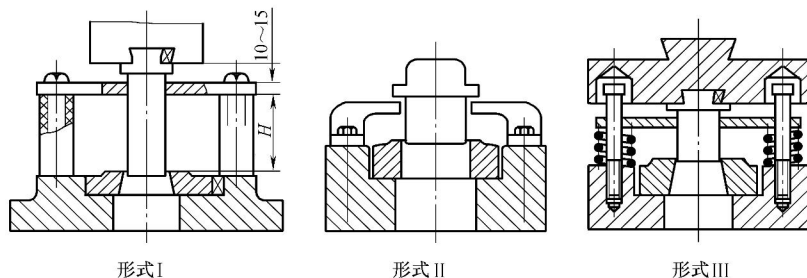


图 6-21 卸飞边装置

形式Ⅰ是一种可靠的结构,适用于中小件的冷热切边。形式Ⅱ是爪形卸飞边装置,适用于大锻件切边。形式Ⅲ是弹簧卸飞边装置,适用于高度尺寸较大的锻件冷切边,由于设有弹簧,可保证锻件放入时有足够的空间。

卸飞边装置的尺寸:卸板与凹模之间的距离 H 以及支架之间的距离应保证能顺利放入锻件,卸板孔型尺寸应比凸模每边加大 $1 \sim 2\text{mm}$,卸板厚度取 $15 \sim 25\text{mm}$ 。

6.1.3 冲孔模

冲孔分为热冲与冷冲,其选择的基本原则与切边相同。

常用的冲孔模结构如图 6-22 所示。凸凹模间隙 δ 按锻件不产生压痕确定。凸模刃口尺寸按冲孔公称直径制造,通过加大凹模获得间隙。凸模高度应保证连皮与锻件完全分离。凹模应使锻件定位方便、准确。

1. 冲孔凸凹模间的间隙

冲孔时,刃口设置在凸模上,凹模只起支承锻件的作用,凸模按锻件图制造,依靠放大凹模孔的尺寸获得间隙(见图 6-23),其间隙 $\delta = h_1 \tan \alpha - 0.5\text{mm}$,且保证 $0.5\text{mm} < \delta < 3\text{mm}$ 。

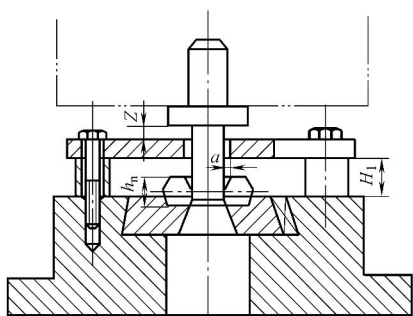


图 6-22 冲孔模结构

$$(H_1 = h_n + (5 \sim 8)\text{mm}, \alpha = 1.5 \sim 2.5\text{mm}, \\ Z = 10 \sim 15\text{mm})$$

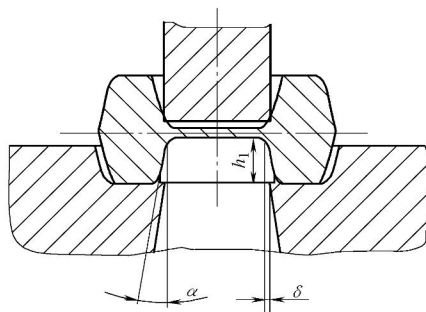


图 6-23 冲孔凸凹模间的间隙

2. 冲孔凹模

冲孔时,锻件放在凹模内,靠冲孔凸模端面的刃口将连皮冲掉,如图 6-24 所示是冲孔模的结构简图。凸模刃口部分的尺寸按锻件孔形尺寸确定。凸凹模之间的间隙靠扩大凹模孔尺寸来保证。冲孔凹模设计时,应注意以下几点:

- 1) 孔径 d 按锻件名义孔径再加 2δ 。
- 2) 凹模起支承锻件的作用,定位部分的侧面间隙 Δ 为锻件在该处的正偏差的一半加 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$;非定位部分的侧面间隙 Δ_1 可大一些, $\Delta_1 = \Delta + 0.5\text{mm}$ 。

外孔凹模起支承锻件的作用。凹模内凹槽对锻件进行定位,其垂直方向的尺寸

按锻件上相应部分的公称尺寸确定,但凹槽的最大深度一般应小于锻件的高度。形状对称的锻件,凹槽的深度可比锻件相应高度的一半小一些。凹槽水平方向的尺寸,在定位部分(见图6-24中的 C 尺寸)的侧面与锻件间应有间隙 Δ ,其值为 $e/2 + (0.3 \sim 0.5) \text{ mm}$, e 为锻件在该处的正偏差。

在非定位部分(见图6-24中 B 尺寸),间隙 Δ_1 可比 Δ 大一些,如取 $\Delta_1 = \Delta + 0.5 \text{ mm}$,而且该处的制造精度也可低一些。

3) 支承面积应足够大,故凹模孔径应稍小于锻件底面孔径,凹模孔的最小高度 $H_{\min} \geq S + 15 \text{ mm}$, S 为连皮厚度。

冲孔凹模的紧固方式与切边模相同。

3. 冲孔凸模(冲头)

冲孔时冲孔凸模既起传递压力的作用又起剪切刃口的作用。冲孔凸模设置刃口,其外形按锻件孔径名义尺寸制造,凸模高度必须保证冲孔时能使连皮与锻件完全分离。凸模的紧固方式与切边模相同。

4. 卸锻件装置

冲孔时锻件易卡在凸模上,一般均需设置卸料装置,设计原则与切边模相同。当凸凹模间隙小于 0.5 mm 时,冲孔模上应设置导柱、导套。

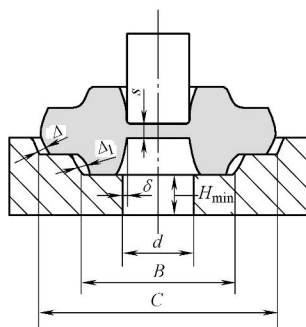


图 6-24 冲孔凹模尺寸

6.1.4 切边模、冲孔模的形式选择

根据锻件形状、生产批量及模锻工序的联合性等要求,切边模和冲孔模可分为三种结构形式。

1. 简单模

简单模(或称单一模)用来完成一个工序,如切边模和冲孔模。对于只单独进行切边或冲孔的模具称为简单模,其结构见图6-3和图6-22。这种模具结构简单,制造、调整方便,多用于锻件批量不大时。

2. 连续模

连续模是连续进行切边和冲孔的模具,在压力机的二至三次行程内,顺序地在模具的各个部分完成二至三个工序,如切边—冲孔连续模,每一次行程内同时进行已经过边的锻件冲孔及新放入锻件的切边。因此,也可将连续模看成一种简单的组合模具,其结构形式见图6-25。其尺寸设计与前述的切边、冲孔模相同,只是上下模座较为复杂,为保证模具工作的可靠性,一般多采用导柱、导套等结构。

各工序的有关零件(切边凹模与凸模、冲孔凹模与凸模等)应能单独调整,

一般固定在上模座的零件不调整，而固定在下模座的零件可调整。设计模具闭合高度时，应考虑各工序间的相互关系。

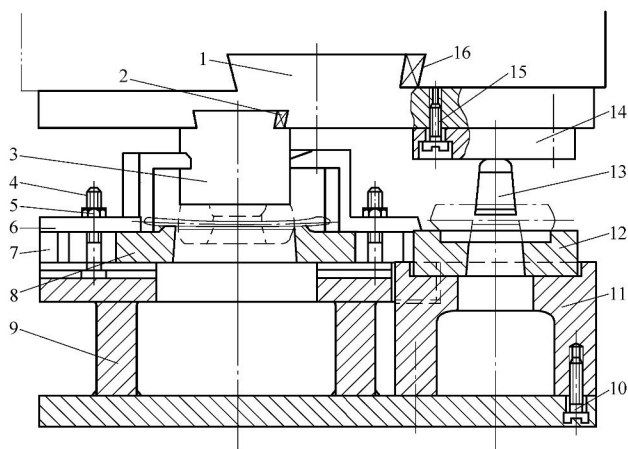


图 6-25 切边冲孔连续模

1—上模座 2、16—楔子 3—凸模 4、10、15—螺栓 5—螺帽 6—压板 7—垫块
8—凹模 9—焊接模座 11—模垫 12—冲孔凹模 13—冲孔凸模 14—冲垫

对于锻件凸台（轮毂）定位时，一般先冲孔后切边。用于锻件外缘（轮缘）定位时，一般先切边后冲孔。

当锻件较高时，凸模不必进入凹模，可采用图 6-26 所示的简易切边冲孔模。

3. 复合模设计

复合模是在压力机的一次行程中完成两个以上工序的模具，最常用的是切边与冲孔。复合模的结构形式见图 6-27。

复合模的工作过程：当压力机滑块处于最上位置时，顶出器也处于最高位置，将锻件放在顶出器上。滑块下移时，

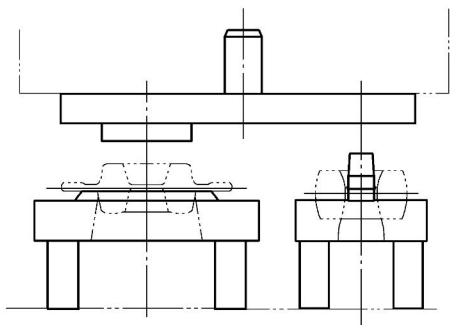


图 6-26 简易切边冲孔连续模

凸模顶出器及其上的锻件靠自重也向下移动。当锻件与凹模刃口接触后，顶出器与它脱开并继续下移，直到模板与下模座接触。此后，凸模与锻件接触并推动锻件在凹模刃口上进行切边，然后冲头与连皮接触进行冲孔，锻件落在顶出器上。然后顶出器和锻件一起上移，并将锻件顶出，切边冲孔工序完毕。

切边冲孔复合模的设计要点：

- 1) 锻件上下不对称时，选择形状简单的一面朝上，从而使凸模形状简单。
- 2) 计算所得的凸凹模之间的间隙应尽量满足：切边时 δ_1 不小于 1mm，冲孔时

δ_2 不小于 0.6mm，否则，就要设置卸料装置，使模具结构复杂化。

3) 为减小压力机负荷，应将切边冲孔错开进行，切边在前，冲孔在后。连皮与冲头之间应有间隙，一般 $\lambda = 5 \sim 15\text{mm}$ (图 6-28)。

4) 切移量 e 值应保证切净飞边，冲净连皮，并保证 λ 不小于 10 ~ 15mm (见图 6-28)。

5) 凹模刃口端面 and 冲头端面的磨损会导致模具闭合高度减小，为避免锻件在凸模和顶件器之间受压，其间应留间隙 $H_1 \geq 5 \sim 15\text{mm}$ 。同时，横梁与螺栓之间也应留有间隙 H_2 (见图 6-28)。

6) 滑块回到最上位置时，为保证锻件易于取出，飞边与凹模之间应留间隙 $z = 2 \sim 5\text{mm}$ ，横梁与凹模垫板之间也应留有间隙 $H_3 = 5 \sim 15\text{mm}$ (见图 6-28)。

在生产批量不大的情况下，可采用简易切边冲孔复合模，如图 6-29 所示在切边模上加一活动冲子，凸模下压时，首先推动冲子，冲除连皮，继而推压锻件，切除飞边。

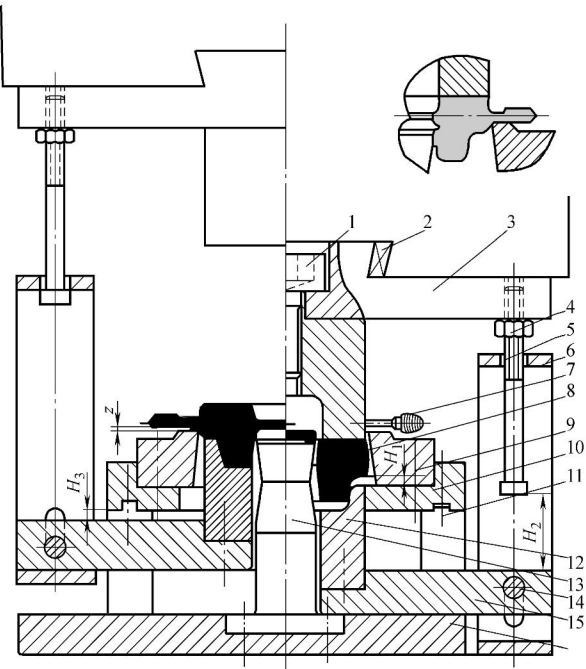


图 6-27 切边冲孔复合模

- 1—螺栓 2—楔子 3—上模板 4—螺帽
5—螺栓 6—托架 7—凸凹模 8—锻件
9—凹模 10—垫板 11—支承板 12—顶件器
13—冲头 14—螺栓 15—横梁 16—下模板

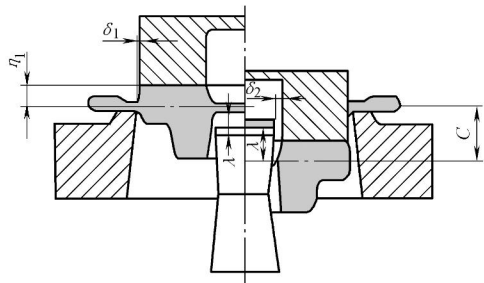


图 6-28 切边冲孔复合模间隙

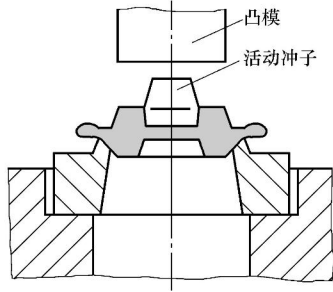


图 6-29 简易切边冲孔复合模

复合模安装调整较困难，但大批量生产时，采用复合模可以提高生产效率，保证锻件质量。复合模一般用于锻件的热切边和冲孔。

6.1.5 切边压力机公称压力选择

锻件切边时，压力大小的计算方法是按照一般剪切的原理计算的，但是切边模的凸模与凹模之间是有一定的间隙，所以考虑了在剪切时附有弯曲及拉伸的作用存在，因此采用一个较大的安全系数，以保证机床的安全。

其切边所需压力：

$$F_n = 1.6\sigma_b(2.5h_f + B)$$

冲孔所需压力：

$$F_c = 1.6\sigma_bL(2.5H_n + B)$$

式中 σ_b ——切边、冲孔时材料强度极限，如表 6-10 所示（kN/mm²）；

L ——切边、冲孔周长（mm）；

h_f ——飞边桥部高度（mm）；

H_n ——连皮高度（mm）；

B ——锻件正公差（mm）。

一般根据经验公式选择切边压力机与模锻设备配组。

压力机公称压力 = (80 ~ 100) G

式中 G ——配组模锻锤吨位（t）。

表 6-10 热切边冲孔时材料强度极限 σ_b （单位：kN/mm²）

C < 0.25% 碳素钢	C > 0.25% 碳素钢 C < 0.25% 低合金钢	C > 0.25% 低合金钢	合金钢 (如 GCr15, 15NiCrMo)
10	12	15	20

6.2 锻件校正

锻件在各生产工序及运送过程中，由于各种原因会产生弯曲或扭转等变形。如锻件由于飞边急冷收缩引起拉力使锻件变形，或者切边冲孔去连皮时产生变形。尤其是长轴类与弯曲类锻件最容易变形，锻件的变形值可以用对轴线的相对量来表示（见图 6-30）。由于锻件的变形往往会导致加工余量不均匀，有时甚至没有加工余量，为了防止锻件因为变形而不能满足锻件图技术要求而成为废品，应该消除这种变形，使锻件符合锻件图技术要求，因而需要对变形锻件进行校正。

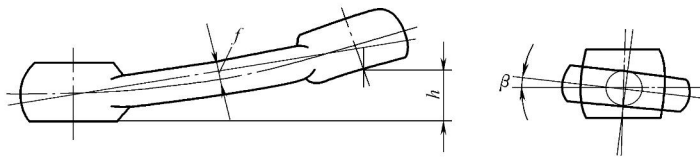


图 6-30 弯曲量

h —弯曲度 f —挠度 β —扭转角度

通常，需要校正的是那些易于走样的细长锻件、具有高肋的锻件、落差较大的锻件、厚度较薄的锻件、相邻断面差别较大的锻件和形状复杂的锻件等。

锻模件的校正可分为热校正和冷校正两种。

1) 热态下校正通常是在锻件切边、冲孔后进行的（与模锻同一火次）。对于形状复杂的锻件，在切边冲孔并清除毛刺后，再加热到校正温度进行热校正。热校正可在模锻锤的终锻模槽内校正，也可在校正设备（如摩擦压力机）上的校正模中进行。这样可以与模锻设备、切边设备组成一条流水线，在大批量生产中采用较为合适；也可以在切边压力机上采用连续式或复合式的切飞边—校正或冲连皮—校正的模具内进行。

2) 冷校正。冷校正是在锻件清理后进行，作为最后工序，这种方法一般用于中小型的锻件和易于在冷切边、冲孔、热处理及表面清理过程中产生变形的锻件。冷校正可在夹板锤、摩擦压力机、曲柄压力机等设备上的校正模中进行。为了提高塑性，防止产生裂纹，需要将锻件先进行退火或正火处理。

在生产实际中，需要采用校正模的锻件有：细长轴、具有大小头的长杆类锻件、叉类锻件、分型面弯曲的细长锻件、落差锻件、薄法兰锻件、冲孔锻件和变速叉。

校正通常在校正模内进行（见图 6-31）。对于某些回弹作用较大、在校正模内不能完全校直、需要在与原来弯曲相反的方向进行反弯才能校直的锻件，也可以不用模具。如细长锻件的校正是直接将锻件放在液压机工作台的两块 V 形铁上，利用装在液压机压头上的 V 形铁进行校直（见图 6-32）。

冷校正多在夹板锤或压力机的

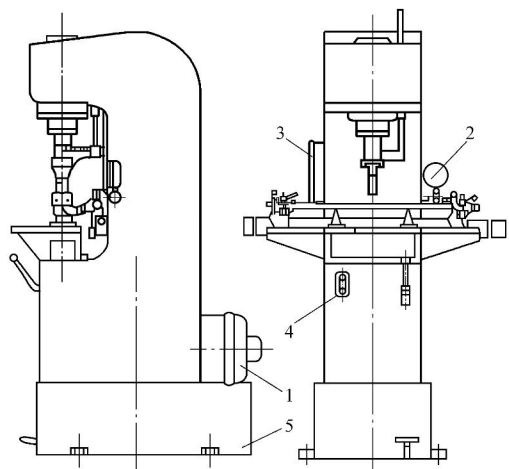


图 6-31 液压机校正

1—带电动机的叶片泵 2—压力表
3—开关板 4—按钮 5—油箱

校正模里进行,生产率高,应用普遍。为了提高塑性,防止产生裂纹,需要将锻件先进行退火或正火处理。

(1) 校正型槽的设计 校正模型槽是根据锻件图(热校正或冷校正)来设计的。在保证校正要求的情况下,应力求型槽形状简化,定位可靠,操作方便和制造简单。

为了使锻件放入或取出型槽时方便,并考虑到锻件在高度方向上有欠压现象时,在校正过程中锻件横向尺寸会增大,所以在水平方向型槽与锻件之间应留有一定空隙 Δ_1 ,其值与锻件的断面形状和大小有关,可按表6-11选用。对于凸起部分较高的锻件($H/D > 1$),其空隙可取大一些,或根据具体情况取不同的空隙值,最好做成两段不同的间隙。对于易变形的叉形锻件,为了校正得好,在叉形顶部的某一高度范围内应不留空隙。

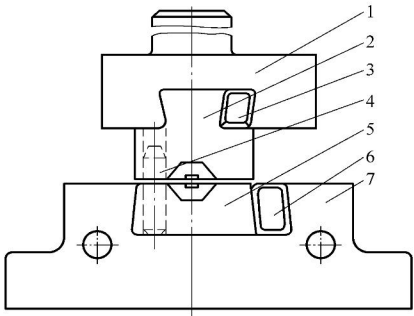
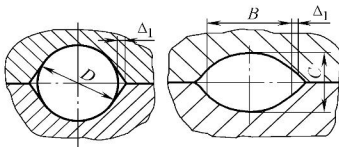
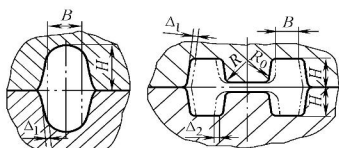
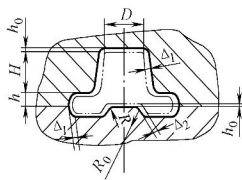


图 6-32 压力机上的校正模

1—上模座 2—上模 3、6—楔
4—导柱 5—下模 7—下模座

表 6-11 校正型槽与锻件之间的间隙

断面形状	空 隙					
 圆形与椭圆形断面	D 或 B /mm	≤ 10	11 ~ 20	21 ~ 40	41 ~ 60	> 60
	Δ_1 /mm	0.8	1.0	1.5	2.0	2.0 ~ 2.5
 工字形与肋筋断面	H /mm	≤ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	
	Δ_1 /mm	1.2	1.5	2.0	2.0 ~ 2.5	
	Δ_2 /mm	0.8	1.0	1.0	1.0	
	$R = R_0 + (2 \sim 5) \text{ mm}$					
 一般形状	H /mm	≤ 30	31 ~ 45	46 ~ 60	> 60	
	Δ_1 /mm	1.5	2.0	2.5	2.5 ~ 3.0	
	Δ_2 /mm	0.8	1.0	1.0	1.0	
	$H/D \leq 1$ 时适用; $h_{II} = 1 \sim 4 \text{ mm}$ 时, $R = R_0 + (2 \sim 5) \text{ mm}$					

对于小锻件来说,因锻件欠压现象不严重,校正型槽的高度可取等于锻件的高度;对于大中型锻件,校正模型槽高度比锻件高度要小些,其差值为锻件的负偏差。

在校正模的型槽边缘应做圆角 $R = 3 \sim 5\text{mm}$, 型槽的表面粗糙度 R_a 值为 $1.6\mu\text{m}$, 其制造公差可按表 6-12 选取。

表 6-12 校正模的型槽尺寸公差

型槽尺寸/mm	深度尺寸公差 /mm	长或宽尺寸公差 /mm	型槽尺寸/mm	深度尺寸公差 /mm	长或宽尺寸公差 /mm
≤ 15	+0.1 -0.2	+0.6 -0.2	61 ~ 120	—	+1.4 -0.5
16 ~ 30	+0.1 -0.3	+0.8 -0.3	> 120	—	+1.5 -0.6
31 ~ 60	+0.2 -0.4	+1.1 -0.4			

(2) 校正模结构 锻锤或摩擦压力机用校正模结构与锻模类似(见图 6-32),校正模应有足够的承击面,用摩擦压力机校正时,校正模承击面的经验值为 $1 \sim 1.3\text{cm}^2/10\text{kN}$ 。在设计曲柄类压力机上的校正模时,为了防止卡死,应考虑上下模间应留出 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的间隙。

(3) 校正模型槽的间距和壁厚 型槽的间距和壁厚是按校正部分的形状来确定。对于平面校正的情况,其壁厚和型槽间距可按图 6-33 选取。加校正部分为斜面时,型槽侧面与锻件接触,其壁厚与型槽间距可按图 6-34 选取。锁扣部分与型槽的间距如图 6-35 所示,由相邻型槽深度来决定,一般 s 为 $25 \sim 35\text{mm}$ 。

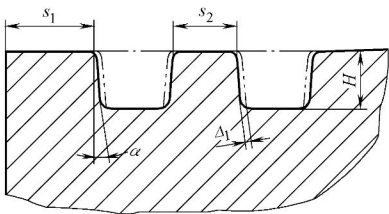


图 6-33 平面校正时的模膛间距与壁厚
($s_1 \geq H$, s_1 不小于 30mm ; $s_2 \geq H$, s_2 不小于 20mm)

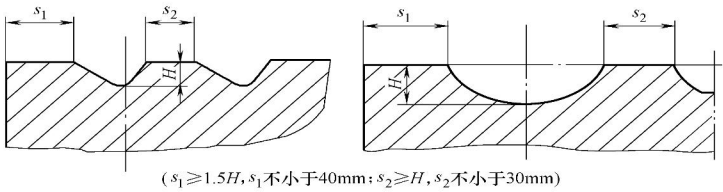


图 6-34 具有斜面的锻件校正时的模膛间距与壁厚
($s_1 \geq 1.5H$, s_1 不小于 40mm ; $s_2 \geq H$, s_2 不小于 30mm)

对于小型锻件，可在一个模块上做两个相同的型槽，以轮换使用。

为了防止锻件上不大的突出部分（见图 6-36）在校正时被压坏，对于该部分不宜加压，为此应在突出部分的周围留出 $0.3 \sim 0.5$ mm 的间隙。对分模平面呈对称形的锻件，在放入下模进行校正时，没有上下面之分。如果锻件的上下面因在某一面上有一小突出部分而不相同时（图 6-37），则应在校正型槽上下两边的相应位置各作一凹坑。

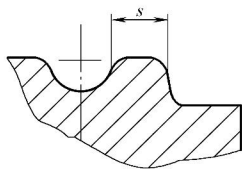


图 6-35 锁扣与型槽的间距

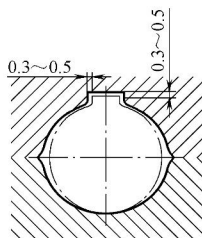


图 6-36 锻件上较小的突出部分周围应留间隙量

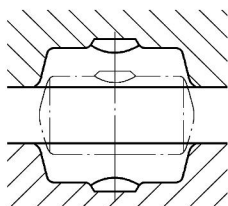


图 6-37 不对称锻件的对称型槽

对于复杂形状的锻件，如曲轴、凸轮轴等，必须在两个方向上（一般相差 90° ）用两个型槽来校正（见图 6-38）。

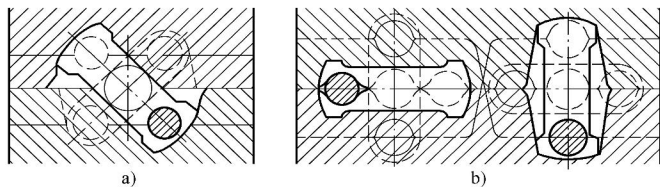


图 6-38 曲轴校正模

a) 单型槽校正 b) 双型槽校正

6.3 锻后热处理和锻件清理

1. 锻后热处理

模锻后的锻件由于坯料加热温度、加热时间、模锻温度的波动（一般情况下始锻温度和终锻温度都较高）和金属变形、冷却不均匀等原因，往往会产生晶粒粗大，组织不均匀或有残余应力存在。因此应进行热处理以消除残余应力、细化晶粒、改善组织和力学性能、提高切削性能，从而为最后热处理作准备，或直接达到

零件对金相组织和力学性能的要求。少部分不重要的锻件可不进行热处理。

汽车模锻件用结构钢，一般采用的热处理工艺为正火或调质。它是根据锻件的材料、零件对组织和力学性能的要求以及零件的整个工艺路线等因素来选定的。

在大批量生产中，为了短缩工艺路线和节省燃料，将模锻件的热处理工序放在模锻、热切边冲孔工序后，利用锻件的余热立即进行。例如：某厂模锻连杆的模锻机组里增加了热处理连续炉和摩擦压力机（校正用），连杆锻件模锻好，并经过热切边冲孔后，就由传送带送进油槽淬火和热处理炉内高温回火，然后在摩擦压力机上校正。

2. 锻件清理

模锻件在生产过程中形成的氧化铁需要去除，因为：①去除在锻造生产过程中形成的氧化铁皮和其他表面缺陷（裂纹、折纹、毛刺等），以提高黑皮锻件的表面质量，或减少锻件在切削加工时的刀具磨损。②显露锻件表面缺陷，为检查锻件质量提供条件。③给冷精压和精密模锻提供具有良好表面质量的毛坯。有时候，为了提高锻件精度，减少模具磨损，避免氧化铁皮压入锻件，或防止已有的表面缺陷在锻造时继续扩大，对原材料和中间毛坯也要进行清理。

锻造氧化铁皮主要由 FeO 、 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 组成，高合金钢锻件的氧化铁皮在与基体金属相连处含有各种合金元素的氧化物，一般比碳素钢的氧化铁皮薄，但是较难清除。

（1）滚筒清理 滚筒清理是将工件（或混加一定配比的磨料和填充剂）装在旋转的滚筒中，靠相互的撞击和摩擦作用，清除工件表面的氧化铁皮、毛刺等。普通清理滚筒结构简单、操作方便、清理效果可以满足要求，但生产率低、噪音大，一般用于可承受一定撞击而不易变形的中小型锻件。

滚筒清理方法可分为：无磨料清理（简称滚筒清理）和有磨料清理（简称滚筒清理）。前者主要靠撞击清除氧化铁皮，后者则主要靠研磨。

（2）喷丸（砂）清理 喷丸（砂）清理是以压缩空气为动力，将金属弹丸或石英砂高速喷射到工件上去去除氧化铁皮，这种清理方法适用于各种结构、形状和重量的锻件。喷丸的工作压力为 $0.5 \sim 0.6 \text{ MPa}$ ，喷砂的工作压力为 $0.2 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 。喷砂处理灰尘大、生产率低、费用高。由于喷丸清理的生产率较喷砂高、清理锻件质量也较好，因而喷砂处理现在只用于特殊材料或有特殊技术要求的场合，如不锈钢、钛合金的锻件等。

（3）抛丸清理 抛丸清理是利用高速旋转的叶轮将弹丸抛射到锻件表面以去除氧化铁皮。同喷丸清理相比，它的生产效率高、动力消耗少、清理质量好，但噪声大、维修费用较高，是目前使用最广泛的一种清理设备。

抛丸清理（以及喷丸清理）在去除氧化铁皮的同时，可使工件表面层产生加工强化、形成残余压应力，这对提高某些零件（如弹簧）的疲劳强度十分有

益。

弹丸直径的选择不宜太小，也不宜过大。弹丸直径太小，则冲击力小，清理效率低；弹丸过大，单位时间内抛在工件表面的颗粒数就少，也会降低清理效率，而且工件表面弹痕加大，导致表面粗糙度值增加，因此应当合理选择弹丸粒度。

(4) 酸洗清理 酸洗是用于各种类型锻件和坯料的高生产率的清理方法之一。它的特点是可以将锻件难清理部位（如深孔、凹槽）的氧化铁皮清除干净，而且清理后的锻件局部表面缺陷（如发裂、折纹等）显露清晰，便于检验。因此，酸洗广泛用于结构形状复杂、易变形和重要的锻件清理上。一般酸洗后锻件表面比较粗糙，呈灰黑色，基体金属有微量腐蚀，工件尺寸的减小约在 1% ~ 2%。对于一些高合金钢锻件，在酸洗后还可进行喷砂清理，以提高锻件黑皮部分的表面质量。

盐酸酸洗过程的特点与硫酸酸洗不同，氧化铁皮的清除主要靠氧化铁皮本身在盐酸溶液中的溶解，而硫酸酸洗过程则是锻件与氧化皮层之间产生的氢使氧化皮胀裂而掉下。因此，盐酸酸洗一般不会产生氢脆；金属损耗也较小，一般为工件重量的 0.1% 以下；酸洗后的工件表面质量也比硫酸酸洗好。虽然盐酸酸洗比硫酸酸洗质量好，速度快，但是硫酸酸洗也有很多优点：硫酸价格便宜；浓硫酸的浓度高，储运方便；硫酸溶液的利用率高；当浓度降低时，可提高溶液温度，保持酸洗能力；废酸液和硫酸亚铁综合利用的用途多，废酸回收处理后，可重新使用等。这一系列的优点都是盐酸酸洗所没有的。因此，目前生产中多采用硫酸酸洗，只有在特殊技术要求（如对氢脆敏感的高强度合金结构钢的酸洗）或有廉价供应方便的盐酸时，才采用盐酸酸洗。

碳素钢和低合金钢的锻件和坯料多采用硫酸酸洗，有的也采用盐酸酸洗。高合金钢和有色合金需要使用多种酸混合溶液的酸洗，有时还必须进行碱—酸复合酸洗。为了防止氢导致锻件表层产生氢脆，加速酸洗过程并防止酸蒸溢出污染空气，应在酸液中加入适量的 54 酸洗添加剂。酸洗附加剂的主要作用是阻抑酸对基体金属的侵蚀，以减少氢的生成量和金属损耗；阻止氢原子向基体金属扩散渗入，防止氢脆；在酸洗溶液表面形成泡沫，阻止酸蒸汽和其他有害气体溢出，以改善工人劳动条件。

1) 配制和调整酸洗溶液：酸洗溶液的成分和加热温度可参考表 6-13，并结合实际生产条件具体确定。酸洗溶液的体积约为酸洗槽容积的 70%。

为了保持硫酸酸洗速度，可根据浓度降低情况，分段提高酸洗溶液的温度。

2) 配制和调整碱性中和溶液：中和溶液用苛性钠 40 ~ 50g/L 和再生石灰 45 ~ 55g/L 配制成。工作浓度为 2% ~ 5%，工作温度一般为室温，也可加热到 40 ~ 50℃。每班调整一次浓度，使用 5 ~ 9 个班后，排除废液。

表 6-13 硫酸和盐酸的酸洗规范

酸洗溶液	初始浓度 /(g/L)	最低浓度 /(g/L)	附加剂用量/(g/L)	初始温度 /℃	最高温度 /℃	酸洗时间 /min
硫酸溶液	200 ~ 230	30 ~ 60	“54”牌酸抗蚀剂;1.5 ~ 3	50 ~ 60	85 ~ 90	30 ~ 120
			食盐;25-50 液体磺化牲畜血;10 ~ 15	50 ~ 60	75	30 ~ 120
	280 ~ 300	150 ~ 260	“54”牌酸抗蚀剂;2.5 ~ 3	80 ~ 85	—	5 ~ 20
	60	30	“54”牌酸抗蚀剂;2.5 ~ 3	室温	—	2 ~ 5
盐酸溶液	160 ~ 220	50 ~ 100	液体磺化牲畜血;15 ~ 20	30 ~ 40	50	5 ~ 15
			二氧化锡;2	30 ~ 40	50	5 ~ 15
			盐酸抑制剂;4 ~ 9	30 ~ 40	50	5 ~ 15

3) 酸洗工序

①零件准备：将待酸洗的锻件或坯料装入酸洗筐或专用夹具。板形件不得有序排列，而应杂乱堆放；带盲孔的锻件应使盲孔呈水平状态放置。

②除油：锻件上如果有油污，应先进行除油。浓度为 50 ~ 100g/L 的苛性钠，溶液温度为 40 ~ 70℃，除油时间为 5 ~ 20min。

③水洗：将工件放在冷流水中或在热水中浸洗 1 ~ 2min，以去除残留碱液。

④酸洗：将酸洗筐浸入酸洗槽，并宜进行（行车或电葫芦）上下摆动。酸洗时间与氧化铁皮的厚度和结构特点、酸液的种类、成分及温度等因素有关。影响氧化铁皮结构特点的主要因素是酸洗前的热处理，硫酸酸洗时间则可按工件酸洗前的热处理类型确定，如表 6-14 所示。

表 6-14 硫酸酸洗时间

锻件酸洗前热处理	退火	正火	调质	未热处理
酸洗时间/min	80 ~ 120	60 ~ 90	30 ~ 60	10 ~ 30

⑤水洗：酸洗后工件表面附着有酸和亚铁盐，硫酸亚铁很容易在空气中氧化成不易被水洗掉的硫酸铁，故应立即进行水洗。水洗可用冷流水，也可在 60 ~ 90℃热水中洗涤 3 ~ 5min。

⑥中和：水洗后浸入中和槽，浸洗 4 ~ 5min，清除工件表面的残酸。

⑦水洗：最后在 60 ~ 70℃热水中浸洗 3 ~ 6min，取出后用压缩空气吹干或自然晾干。

6.4 锻件精压

一般热模锻件所能达到的合理尺寸精度公差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，其表面粗糙度值 R_a 。

$= 12.5\mu\text{m}$ 。在大批量生产中,为了进一步减少切削加工工时、节约金属、提高生产率和降低锻件成本,通过对已经模锻基本成形的锻件再给予小量的精压变形,以得到更高的精度和更低的表面粗糙度值。一般精度为 $\pm(0.1 \sim 0.25)\text{mm}$, 较高精度为 $\pm(0.01 \sim 0.05)\text{mm}$, 其表面粗糙度值 $R_a = 0.4 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。这种对模锻后锻件采用的精压工序可以部分或全部代替切削加工。

精压既可在冷态也可在热态下进行。冷精压多在精压机上进行,精压机采用了曲柄肘杆式的铰链机构,特点是工作行程较小,刚度好,加压时间增长,滑块行程终了可以得到很大的压力,精压机公称压力是 $4500 \sim 40000\text{kN}$ 。热精压可在精压机、摩擦压力机、热模锻压机上进行,多用于体积精压。精压设备一般都布置在主要锻造设备的近旁,精压工序通常是在热切飞边后,于同一火次内进行的。

1. 精压类别

根据精压时金属流动情况,可分成下列两种:

1) 平面精压。在二平板之间压缩金属,使金属沿着水平方向自由流动,这种精压方法称为平面精压,见图 6-39。它可以对一个或数个平面进行精压,其目的在于使受压部分得到具有较高的尺寸精度和低的表面粗糙度值。如连杆锻件,其后续切削加工工序的定位要求头部端面应在同一平面上,其准确度为 0.6mm (100mm 内),但模锻后只能达到 ${}^{+1.0}_{-0.8}\text{mm}$,因此还需在精压机上将大小头部的上下平面精压一下,最后得到 $\pm 0.2\text{mm}$ 的公差。

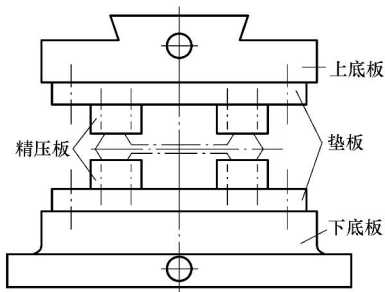


图 6-39 平面精压模的结构示意图

2) 整体精压(体积精压)。体积精压与热态模锻相似,锻件全部表面均受挤压,多余金属流出形成小飞边,以获得重量准确、表面光洁度和精度较高的锻件,见图 6-40。精压工序的实质是将锻件重复锻造至更加准确的尺寸,故锻件的全部尺寸精度和重量精度均得到提高。但因变形抗力较大,并受到精压设备的限制,故这种方法多应用于小型零件的精压。

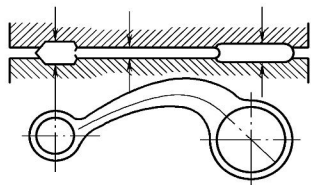


图 6-40 整体精压

在生产实际中,锻件可以在局部的几个平面、或曲面、或局部体积上进行精压。如在工件长面上压出工厂牌号、商标等,就是采用精压的方法进行的,这种方法常称为浮雕压印。

2. 精压时的变形

平面精压实质上是在平板间的自由锻粗。

当在两平板间把工件从 H_0 压缩到 $H_{\min}$ 时,尽管精压平板的工作表面是完全平

的,但压出的工件却是边缘为 $H_{\min}$ 、中心为 $H_{\max}$ 的凸透镜形的曲面 (如图 6-41 所示),妨碍了得到尺寸更加精确的锻件。精压后的凸起程度:

$$f_{\text{件}} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2}$$

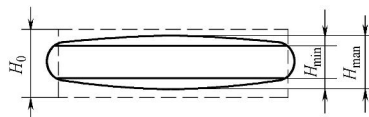


图 6-41 平面精压凸起度

当正应力沿工件表面均匀分布时,工件凸起度可按照弹性理论,由工件中心和工件边缘处精压板的弹性变形之差来确定:

$$f_{\text{件}} = f_{\text{中}} - f_{\text{边}} = \frac{0.32\sigma_s D}{E}$$

式中 σ_s ——工件材料的屈服极限 (N/mm^2);

D ——工件精压直径 (mm);

E ——弹性模数,钢为 $2.1 \times 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。

考虑精压时端面存在摩擦,以精压时平均单位压力 q 代换 σ_s ,并将工件直径换算成面积,即 $D = 1.13 \sqrt{A}$,则上式可改写为

$$f_{\text{件}} \approx \frac{0.36q \sqrt{A}}{E}$$

由此可以看出,工件凸起度的大小与工件材料的平均单位压力及精压面积成正比,而与精压平板的弹性模数成反比。因此,为了提高精压尺寸精度,就要采取以下措施:

(1) 降低精压时工件的平均单位压力 q 不同的材料,其 q 值不同,所能达到的尺寸精度就不一样,如铝合金就能比钢得到更精确的尺寸。对同一种材料,可以采取以下工艺措施降低其 q 值:

1) 采用热精压。热精压虽可降低 q 值,从而使 f 减小,但表面粗糙度值高。如果在冷精压前先安排一次热精压,就可收到较好的效果。

2) 润滑及润滑剂。由于在精压板与工件的接触表面间存在摩擦,这就会引起正应力的不均匀分布。摩擦愈大,应力分布就愈不均匀。

采用润滑,可以减少应力的不均匀分布,从而减小 q 和 f 值。但润滑剂涂得太厚,就会使表面粗糙度显著降低。生产中精压铝合金常用石蜡或蜂蜡,钢用胶状石墨或三硫化钼,如果要得到高精度的钢件,最好先磷化处理后再涂油精压。如果只求得到特别高的表面粗糙度,最好不用润滑剂。

3) 变形程度与精压余量。精压余量愈大,变形程度相应也愈大(一般变形程度约为 $1\% \sim 2\%$),材料的加工硬化愈剧烈, q 及 f 值也愈大。但增大余量能提高表面粗糙度,因此采用多次精压,减小每一次的变形程度,每次精压前要进行退火或正火以减小冷作硬化。

(2) 减小精压面积 A 如果工件允许,应先在精压面中部模锻出凹形,这样不

仅可大大降低 q 及 f 值, 还可使整个精压力减少。

(3) 精压板的材料和精压模结构 为了减少精压板的弹性变形, 精压板应有足够的厚度和面积, 精压板的硬度愈高、弹性模数愈大、模具结构刚性愈好, f 值就愈小。

(4) 限程块 为了减小精压件的 f 值, 有时可采用带限程块的精压模, 如图 6-42 所示。在精压时, 由于限程块的作用, 可减少精压板工作平面上中心与边缘的变形差, 这样可以减小 f 值, 但所需的精压力将会增大。

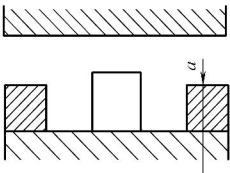


图 6-42 带限程块的精压模

(5) 中心带凸精压板 如果预先将精压板的工作表面预先做成中心带凸起的形状 (如图 6-43), 可望在精压时将锻件压成没有凸起的平面形状, 其凸起形状要由生产经验来确定。如果将精压件的坯料在模锻时做成中部凹陷的形状, 也可收到同样的效果。

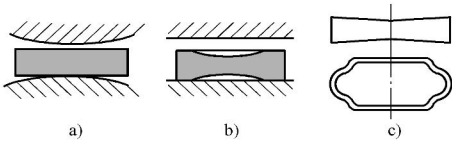


图 6-43 获得平整精压表面的方法

a) 凸形的机精压板 b) 凹形表面的圆毛坯 c) 倾斜表面的长毛坯

3. 平面精压模设计

(1) 精压件图 精压件图是根据产品零件图绘制的, 以作为锻压车间的产品压模具的依据。如果平面精压只在模锻件的局部地方进行, 并大部分保持着模锻件的外形尺寸和公差, 则可在模锻件图上注明精压尺寸精度和要求, 即为模锻—精压件图, 不另绘精压件图, 在模锻件的锻件尺寸下方括号中标注。

(2) 精压余量 经过精压后锻件的尺寸精度较高, 其公差可达到 $\pm 0.25\text{mm}$, 经过多次精压可达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。为了达到精压后的尺寸要求, 应留有一定的精压余量。精压余量是根据零件的形状、尺寸、精度和表面粗糙度以及材料等因素来确定的。一般要求精压件表面粗糙度值 $R_a = 1.6 \sim 6.3\mu\text{m}$, 其精压余量和公差可按表 6-15 和表 6-16 选取。

表 6-15 平面精压余量 (单位: mm)

厚度	≤ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 60
铝合金	0.25	0.5	1.0	1.2	1.6
钢	0.3	0.8	1.2	1.5	1.8

表 6-16 平面精压公差 (单位: μm)

材料	厚度/mm	最大尺寸/mm					
		≤20	21 ~ 40	41 ~ 60	61 ~ 80	81 ~ 100	101 ~ 130
铝合金	≤6	±0.1	±0.15	±0.25	±0.3	±0.4	±0.45
	6 ~ 10	±0.1	±0.15	±0.2	±0.25	±0.3	±0.35
	11 ~ 20	±0.08	±0.12	±0.16	±0.2	±0.25	±0.3
	>20	±0.06	±0.1	±0.15	±0.2	±0.25	±0.3
钢	≤10	±0.12	±0.18	±0.25	±0.3	±0.4	±0.45
	11 ~ 20	±0.12	±0.16	±0.22	±0.25	±0.30	±0.40
	>20	±0.1	±0.14	±0.18	±0.22	±0.25	±0.3

因此,精压前的模锻件图(精压毛坯图)也需根据精压件图,并考虑精压余量和精压时引起水平方向尺寸的变化等因素而绘制,以作为制造锻模的依据。

4. 精压所需压力的确定

精压时变形速度较小,变形量也不大,所需压力主要与材料种类、变形温度及受力状态有关,其所需压力可控下列公式计算:

$$F = KA$$

式中 F ——所需的精压力 (kN);
 A ——锻件的精压投影面积 (cm²);
 K ——平均单位压力 (kN/cm²),可查表 6-17。

表 6-17 各种材料精压时的平均单位压力 (单位: kN/cm²)

材 料	平面精压	体积精压
铝合金	100 ~ 120	140 ~ 170
10,15Cr,13Ni2	130 ~ 160	180 ~ 220
25,12CrNi3,18Cr2Ni4W,40Cr,40CrV	180 ~ 220	250 ~ 300
35,45,30CrMnSi,20CrNi3,37CrNi3,38CrMoAl,40CrNiMo	250 ~ 300	300 ~ 400

- 注: 1. 有飞边时应包括飞边面积。
2. 热精压平均单位压力按表折半。
3. 曲面精压时取平面精压与体积精压平均值。

第 7 章 辊锻制坯及型槽设计

热模锻压力机的行程不能调节，不适宜进行拔长、滚挤等制坯操作，因此在使用它模锻长轴类锻件时，必须配带有制坯的辅助设备。实践表明，采用辊锻机为其制坯，具有效率高、质量好、劳动条件好、对操作人员技术水平要求不高、便于实现机械化自动化等一系列优点，特别适用于大批量生产。

辊锻工艺按用途可分为制坯辊锻与成形辊锻两大类（见表 7-1）。成形辊锻因变形过程控制难度大，常常得不到完整的外形，在生产过程中废品率过高，技术的可靠性和经济性存在争议。除了生产传统的砍刀、刺刀和锄头等精度不高的辊锻产品之外，成形辊锻很少直接用于锻件成形。因此，辊锻机大量用于制坯，以配合热模锻压力机、螺旋压力机等设备的生产。

表 7-1 辊锻的分类和应用

分 类		应 用	变 形 特 点
制坯辊锻	单型槽辊锻	主要用于模锻制坯,如剪刀股的锥形端拔细及梅花扳手的杆部延伸	开式型槽一次或多次辊锻,或闭式型槽一次辊锻
	多型槽辊锻	主要用于模锻制坯,如发动机连杆的制坯辊锻,汽车变速操纵杆的锥形端部延伸	开式型槽或闭式及开式的组合型槽
成形辊锻	单型槽辊锻	用于小型和简单锻件的直接辊锻成形。如医用镊子	一般用开式型槽
	多型槽辊锻	用于断面差较大的锻件,如柴油机连杆、涡轮叶片等	开式型槽、闭式型槽、开式与闭式组合型槽,每槽辊锻一次。辊轧后一般需整形

按其结构形式，常用的辊锻机可分为以下两种（见图 7-1）：

- （1）悬臂式辊锻机：悬臂结构刚性不好，辊级型槽数一般不大于 3，扇形模包角 $\gamma \leq 270^\circ$ ，主要用于制坯辊锻。
- （2）闭式双立架辊锻机：刚性好，可用于制坯辊锻，也可用于成形辊锻。为了扇形模安装方便，包角 γ 应小于 180° 。

辊锻机规格的大小，常用公称辊径 D_0 （即两轧辊中心距）来表示。为了便于操作，扇形模圆周的线速度不能太高，制坯辊锻时取 $0.5 \sim 1\text{m/s}$ ，成形辊锻时取 $0.3 \sim 0.85\text{m/s}$ 。

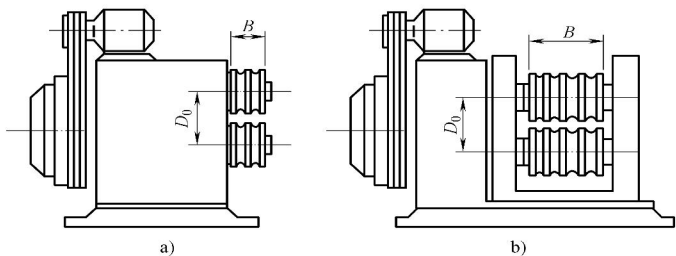


图 7-1 辊锻机

a) 悬臂式辊锻机 b) 闭式双立架辊锻机

7.1 辊锻变形特点及参数

1. 辊锻变形特点

辊锻是由轧制工艺应用到锻造生产中的一种锻造工艺方法。锻造时的拔长是间断性的，而辊锻的拔长是连续性的，是典型的纵轧工艺，其工作过程如图 7-2 所示。型槽开设在扇形模块上，扇形模块装在轧辊上，轧辊在不停地旋转。当扇形模块转离工作位置时，坯料在两轧辊的间隙中送进，依靠挡板定位，以保证变形坯料为合适长度。当轧辊继续旋转时，借助扇形模块上的型槽使坯料产生塑性变形。随着轧辊的转动，坯料逐步充满型槽，并退出轧辊，从而获得所需要的锻件或中间毛坯。

辊锻与一般模锻不同：辊锻变形既有金属轧制的工艺特性，又有金属锻造的工艺特性。一般模锻模具的工作行程是直线运动，而辊锻是旋转运动。辊锻适用于减小坯料断面的锻造过程，如杆件的拔长、板坯的辗片以及沿杆件轴向分配金属体积等变形过程。

辊锻与轧制也有差别：轧制用的轧辊整个圆周都是工作部分，而辊锻只是扇形模这部分工作。轧制送进的是长坯料，而辊锻的坯料一般都比较短。

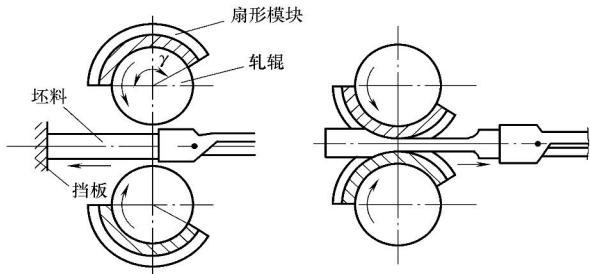


图 7-2 辊锻工作过程

2. 开式型槽和闭式型槽

开式型槽刻在两个辊锻模上，其上、下辊锻模的分模线位于辊锻模槽中间（见图 7-3a）。在开式型槽中宽展是比较自由的，因此，在开式型槽中辊锻时，所得毛坯的侧面几何形状不易十分精确，但对于供模锻用的制坯辊锻来说是没有妨碍的。开式型槽的刻槽较浅，有利于加大辊锻的强度。同时型槽是开式的，在辊锻过程中能量的消耗也较少。

锤上制坯时飞边槽充满系数 $\xi = 0.3 \sim 0.7$ ，辊锻制坯时 $\xi = 0.1 \sim 0.5$ ，具体数值见表 7-2。

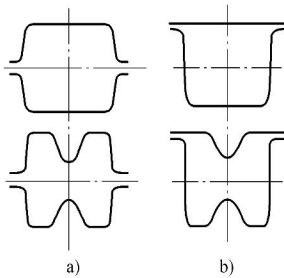


图 7-3 开式型槽和闭式型槽

a) 开式型槽 b) 闭式型槽

表 7-2 辊锻制坯时的飞边槽充满系数 ξ

金属在模锻型槽的飞边槽充满方式	ξ
镦粗	0.1 ~ 0.2
镦粗和部分压入	0.2 ~ 0.3
压入	0.3 ~ 0.5

闭式型槽的模槽刻制在一个辊锻模上，其上下辊模的分模线在辊锻模槽之外（见图 7-3b）。闭式型槽宽展受到限制，可以增大延伸量强化辊锻过程，并可得到截面几何尺寸精确的毛坯。在水平方向具有不均匀变形时，闭式型槽还有利于限制由不均匀变形而引起的坯料出模的水平方向弯曲。但闭式型模较开式型模切槽深，锻辊强度差，并且在辊锻过程中能量消耗大。

单型槽制坯辊锻时，多采用开式型槽进行一次或多次辊锻，或用闭式型槽进行一次辊锻。多型槽制坯辊锻时，采用开式型槽或开式与闭式的组合型槽。

在辊锻过程中，上下辊锻模作用于坯料断面上的力，作用于某一直线的力矩相等，此直线称为型槽的中性线。中性线的确定方法参照第 1 章。

3. 辊锻变形区及其参数

在辊锻过程中，坯料并非在整个长度上同时受到辊锻模的压缩作用，而只是在某一段长度上与辊锻模直接接触，并且随着锻辊的转动和坯料的向前运动，坯料上承受压缩的部位也在变化着。直接承受辊锻模压缩作用而产生变形的这一部分金属体积所占有的空间称为变形区（见图 7-4）。

在变形中，坯料高度方向受到压缩，其宽度和长度尺寸也随之发生了变化。料厚度由 h_0 减小至 h_1 ，二者之差称为绝对压下量 Δh ：

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

绝对压下量 Δh 与坯料原始高度 h_0 之比称为相对压下量 ε ，即

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$$

坯料宽度由 b_0 增加到 b_1 ，二者之差值称为绝对宽展量（简称宽展量） Δb ：

$$\Delta b = b_1 - b_0$$

坯料长度由 l_0 增加到 l_1 ，其差值称为绝对延伸量 Δl ：

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

通常以延伸系数（或称延伸率） λ 表示坯料长度尺寸的变化：

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0}$$

4. 前滑和后滑现象

辊锻时坯料受压缩，左右前后都要流动。左右方向的流动就是增宽。向前流动的结果，使出轧处坯料的流动速度 $V_{\text{坯X}}$ 大于轧辊的圆周线速度 $V_{\text{辊X}}$ ，这个现象叫做“前滑”。向后流动的结果，使入轧处

坯料的流动速度 $V_{\text{坯X}}$ 小于轧辊的圆周线速度 $V_{\text{辊X}}$ ，这个现象叫做“后滑”。中间某一个位置， $V_{\text{坯X}} = V_{\text{辊X}}$ ，这个位置的角度 γ 叫做“临界角”。以此为界，辊锻变形区分为前滑区和后滑区，如图 7-4 所示。坯料的延伸是由坯料对锻辊的相对滑动形成，或者说在辊锻过程中，与坯料延伸的同时，必然伴有前后滑现象产生。随着锻辊直径的增大，金属的前滑是增加的。

5. 坯料送进方式

辊锻时，坯料送进的方式有顺向送进和逆向送进两种方式。

辊锻时，坯料从辊锻机的一侧送入、从另一侧辊锻出来的送进方式称为顺向送进。多道次辊锻时，顺向送进的方式允许坯料反复改变送进方向，并在坯料上无需夹持部位。改变坯料送进方向，有利于辊锻件纵向轮廓的成形。因此，这种送进方式多用在成形辊锻中，例如柴油机连杆成形辊锻中的预成形和成形道次、汽车前轴成形辊锻中的备进次等均采用顺向送进。在制坯辊锻中可采用这种送进方式，如在单道次辊锻或多道次辊锻中，坯料上不允许有夹钳料头，采用逆向送进又无法解决时，都需采用顺向送进。顺向送进方式的缺点在于工序间坯料传递得不便。例如，

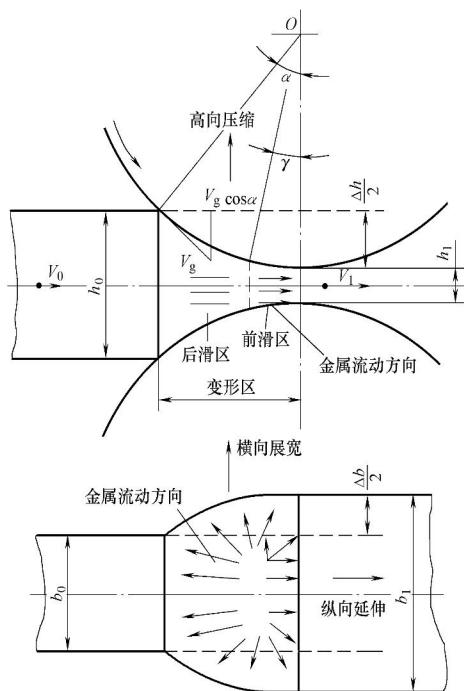


图 7-4 辊锻变形区金属流动

在一台辊锻机上进行多道次辊锻时,由于前一道辊锻后,坯料已到辊锻机的另一侧,因此进行下一道辊锻时,必须将坯料夹回到送料这一侧,才能继续进行辊锻。这就使得多道次辊锻时的坯料传递复杂化。

逆向送进的方式是坯料的送进与辊锻出来的方向均在辊锻机的同一侧,其优点是操作简便。因为多道次辊锻时,坯料从送进到辊出都是在夹钳夹持下进行。在进行下一道辊锻时,只需把夹持坯料的夹钳平行移动或再翻转一角度到下一型槽,便可进行辊锻。逆向送进是辊锻的主要送进方式。制坯辊锻时,基本上都采用逆向送进。

7.2 辊锻工艺及型槽设计

辊锻工艺及型槽设计包括下列内容:

- 1) 根据锻件图设计辊锻毛坯图;
- 2) 确定辊锻道次;
- 3) 选择型槽系;
- 4) 计算各道次辊锻毛坯断面尺寸和型槽横向尺寸;
- 5) 确定型槽纵向尺寸。

7.2.1 辊锻毛坯图设计

辊锻工艺设计的第一项工作是设计辊锻毛坯图,即根据锻件图作出辊锻毛坯断面图。其方法与作锤上模锻件的计算毛坯图相同。首先,沿锻件轴向选取若干个具有代表性的断面,计算每一个断面面积,然后用一定的比例尺绘制在坐标纸上。辊锻毛坯图可有圆、方等不同形状的横断面,如图 7-5 所示为方形断面。辊锻毛坯图是以后进行设计计算的依据。

断面面积按下式计算:

$$A_{\text{辊}} = (A_{\text{锻}} + A_{\text{飞}})(1 + \delta)$$

式中 $A_{\text{辊}}$ ——辊锻毛坯断面面积;

$A_{\text{锻}}$ ——锻件断面面积;

$A_{\text{飞}}$ ——飞边断面面积,其计算方法与锤上模锻的相同,飞边槽充满系数的具体数值见表 7-2;

δ ——烧损率,根据加热条件选取。

为了使辊锻模膛形状不致过于复杂,需要对上述的断面图进行简化:在保证断

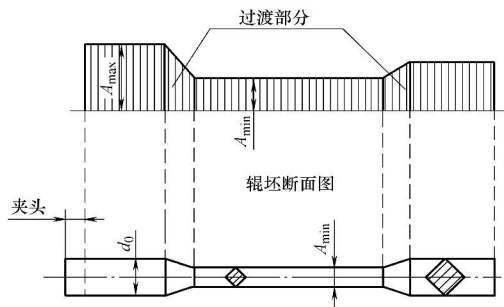


图 7-5 断面图与毛坯图

面图面积不变的前提下,用直线代替曲线,在断面图上面积变化剧烈的部分,用圆弧光滑连接。利用断面图,可以方便地求出辊锻毛坯图。

绘出锻件的断面图后,便可在锻件断面图的基础上设计辊锻毛坯图。在设计时要注意以下几个问题:

1) 按锻件长度上断面积大小不同,划分出几个特征段,如杆部区段、头部区段等。

2) 为了简化模具结构和易于计算,将断面图上的曲线用相应的直线来代替(见图7-6)。

3) 在一般情况下,辊锻毛坯的端部区段长度(见图7-6中毛坯的大头和小头部分长度)应比锻件相应区段长度取得稍短一些,以利于在模锻时易于将毛坯放在锻模中,同时可以避免由于坯料过长而引起的锻件端部出现折叠的缺陷。辊锻毛坯中间部分长度应取得和锻件相同。

各特征段之间相连接的区域应圆滑过渡,否则将导致在辊锻及其后的模锻工步中产生折叠。此过渡区段一般划入断面较大的特征段内,过渡区段的斜度一般取 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。其区段长度为

$$l'_a = (0.5 \sim 0.86)(\sqrt{A} - \sqrt{A'})$$

式中 A 、 A' ——过渡区段的两个特征断面积。

4) 原始毛坯尺寸是按锻件的最大断面选取的,有两种可能的情况:

①最大断面的区段 A 位于坯料的头部,如图7-7a、c和d所示。这个区段在辊锻时不变形。原始毛坯尺寸就按此头部尺寸选择。圆形原始毛坯的直径按 $d_0 = 1.13 \sqrt{A_0}$ 确定,而方形原始毛坯的边长 $c_1 = \sqrt{A_0}$ 确定。

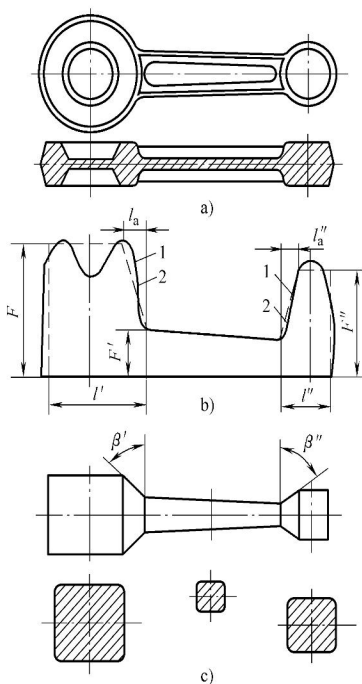


图7-6 辊锻毛坯设计
a) 锻件图 b) 断面图 c) 辊锻件图

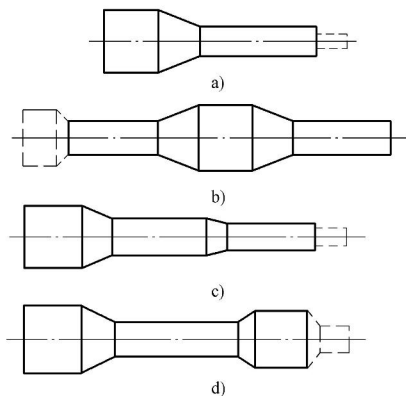


图7-7 辊锻毛坯的几种典型形式
(虚线为夹头)

计算出 d_0 或 c_1 后, 按相近的钢材标准选定原始毛坯尺寸。在重新计算出已选定的原始毛坯断面面积以后, 按体积不变定律对头部长度重新计算确定。

根据辊锻时用夹钳夹持坯料的条件, 处于端部供夹持用的坯料长度不得小于该部分边长或直径的 $1/2$ 。在坯料端部不变形的情况下, 可以利用它作为辊锻时的夹钳部位, 但其长度也必须满足上述夹持条件。

②不变形区段 A 位于毛坯的中间, 如图 7-7b 所示。此时, 可能有两种辊锻方案: 第一种方案是掉头辊, 辊完一端后再辊另一端; 第二种方案是在坯料的一端专门留有钳口位置, 顺序进行辊锻而无需掉头。在比较这两种方案时可以看出: 第一种方案节省金属, 但需掉头, 劳动强度大; 第二种方案无需掉头, 劳动强度小, 但浪费金属。

原始毛坯体积 V_0 按锻件的断面图计算。原始坯料长度按下式计算:

$$l_0 = \frac{V_0}{A_0}$$

5) 在锤上模锻时, 辊锻毛坯通常必须留有夹钳位置。在这种情况下, 毛坯钳口有两种形式: 第一种形式的夹钳料头是利用坯料不变形的端部, 即原始毛坯的端部, 它同时也作为辊锻时的夹持部位; 第二种形式的夹钳料头是在辊锻的最后阶段锻制。夹钳料头的断面形状可以是圆形、方形、矩形或椭圆形, 这取决于所选用的型槽系, 并且在夹料头区段允许有侧飞边。第二种形式较第一种形式的优点在于可节约金属。

6) 被辊锻的杆部的毛坯断面形状, 可根据模锻时的成形要求加以选择。

7.2.2 确定辊锻道次 n 和各辊锻工步延伸系数的分配

1. 辊锻道次

工步数 n 为要达到我们所要求的辊坯的形状和尺寸而需要的辊次。

辊锻时, 原毛坯的断面积与辊坯最小断面积之比称为总拔长系数 $\lambda_{\max}$:

$$\lambda_{\max} = \frac{A_0}{A_{\min}}$$

式中 A_0 ——原毛坯的断面积。辊锻时, 所用原毛坯的直径应按辊坯大头部分加上烧损量来确定;

$A_{\min}$ ——辊坯最小断面积, 从图 7-5 中确定。

总拔长系数为每次辊锻拔长系数的乘积:

$$\lambda_{\max} = \lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_n$$

若每次都取相同的拔长系数 λ_{cp} , 则

$$\lambda_{\max} = \lambda_{cp}^n$$

式中 λ_{cp} ——辊锻平均延伸系数，一般取 1.3 ~ 1.7。

辊锻平均延伸系数 λ_{cp} 与型槽孔型系的选择有关，其值按表 7-3 选取。

表 7-3 λ_{cp} 与型槽孔型系的关系

孔型系	椭圆—方型系	六方—方型系	椭圆—圆型系	菱—方型系
λ_{cp}	1.3 ~ 1.6	1.35 ~ 1.8	1.3 ~ 1.5	1.15 ~ 1.6

对上式取对数，则得辊锻道次 n ：

$$n = \frac{\lg \lambda_{\max}}{\lg \lambda_{cp}}$$

式中 $\lambda_{\max}$ ——辊锻最大延伸系数，可根据 $\lambda_{\max} = A_0/A_{\min}$ 求得。

2. 拔长系数分配

求出辊锻道次 n 和最大延伸系数 $\lambda_{\max}$ 后，需要确定各辊锻工步的延伸系数 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ，以便设计各工步型槽断面尺寸。

(1) 图解法 下面列举一种圆—椭圆—方孔型系延伸系数分配的图解方法（见图 7-8）：

1) 根据已知的轧辊中心距 D_0 与下料坯料直径 d_0 的比值 D_0/d_0 和 D_0 与第二道次方孔边长 c_1 的比值 D_0/c_1 ，按图 7-8a 查出轴长比 a 值。

2) 根据 D_0/d_0 和 a 值，按图 7-8b 查出第一道次辊锻工步（圆—椭圆）延伸系数 λ_1 。

从图 7-8a 可以看出，椭圆形坯料放入方孔型槽中要翻转 90°，为了保证椭圆形坯料断面在方孔型槽中不产生纵向弯曲或偏扭，对金属椭圆断面的轴长比 $b/h_{\text{孔}}$ 要加以限制。图 7-8a 就是为了求 $b/h_{\text{孔}}$ 用。

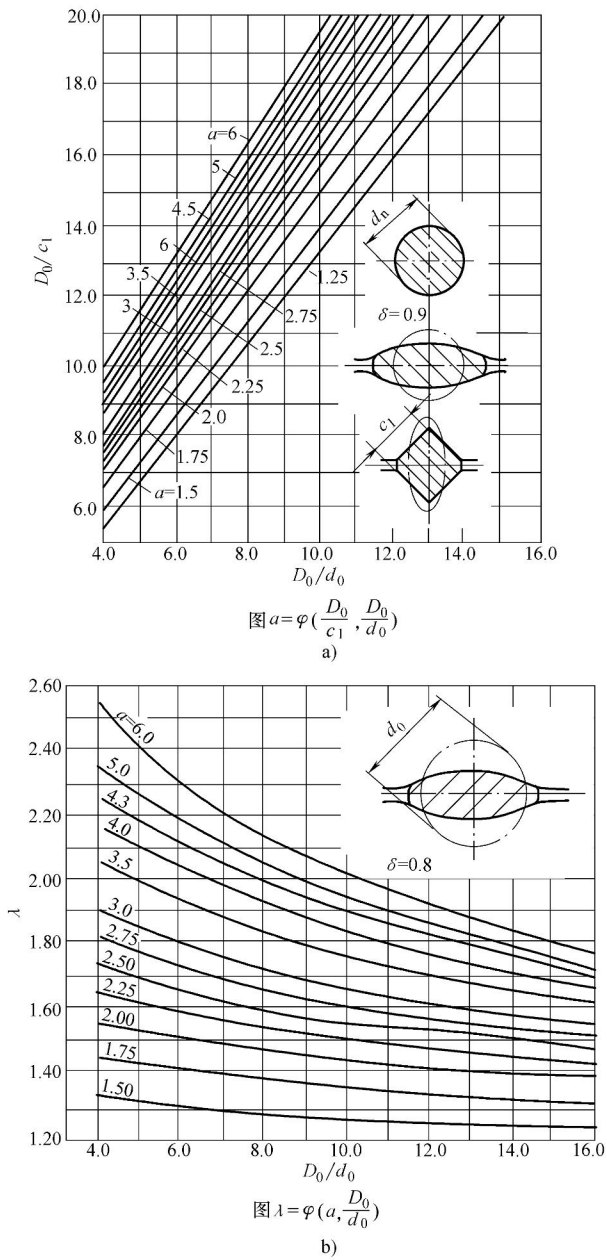
$$\frac{b}{h_{\text{孔}}} = \varphi \left(\frac{D_0}{c_1}, \frac{D_0}{d_0}, \delta \right)$$

纵坐标 D_0/c_1 、横坐标 D_0/d_0 为已知值。 D_0 为两轧钢的中心距， c_1 为方孔型槽的边长， d_0 为原毛坯的直径。

$\delta = \frac{b}{b_{\text{孔}}}$ ，称为型槽充满系数，一般取 $\delta = 0.8 \sim 0.9$ ，目的是为了避免金属流入分型面，因此有意将型槽放大一些。图 7-8a 中 $\delta = 0.9$ 。

已知 $\frac{D_0}{c_1}$ 、 $\frac{D_0}{d_0}$ 和 δ ，从图 7-8a 中可以找到 $b/h_{\text{孔}}$ 值，再根据 D_0/a_1 、 D_0/d_0 、 $b/h_{\text{孔}}$ 值可从图 7-8b 中找到 λ 值，即为圆—椭圆第一道制坯辊锻工步的拔长系数 λ_1 。

$$\lambda_1 = \varphi \left(\delta, \frac{D_0}{d_0}, \frac{b}{h_{\text{孔}}} \right)$$



3) 求出 $\lambda_{\max}$ ，并按下式计算第二道辊锻工步 (椭圆—方) 次延伸系数 λ_2 。

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_1}$$

如果是方—椭圆—圆孔型系,可用方—椭圆—圆孔型系中的确定拔长系数的图表。

(2) 经验法 在延伸系数分配中,必须满足:

$$\lambda_{\max} = \frac{A_0}{A_{\min}} = \frac{A_0}{A_1} \frac{A_1}{A_2} \cdots \frac{A_{i-1}}{A_i} \cdots \frac{A_{n-1}}{A_n} = \lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_i \cdots \lambda_n$$

$\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_n$ 为第 1、2、 $\cdots$ 、 n 道工序的拔长系数;

$A_1, A_2, \cdots, A_n$ 为第 1、2、 $\cdots$ 、 n 道工序辊坯的最小断面积;

λ_i 的选择根据所采用的孔型系,按经验分配方法确定。

根据辊坯不同断面形状,先取一个 λ_1 值,其数值在平均拔长系数 $\lambda_{cp} = 1.3 \sim 1.7$ 的范围内(辊坯为方形取大系数,为圆形取小系数),然后以 $\lambda_2 = \lambda_1 / (1.2 \sim 1.3)$ 的比例关系求出 λ_2 ,看 $\lambda_1 \lambda_2$ 是否等于 $\lambda_{\max}$,如不等,代以另外数值,使其满足 $\lambda_{\max} = \lambda_1 \lambda_2$ 。

7.2.3 型槽孔型系的选择

正确采用辊锻型槽孔型系,与辊锻过程顺利进行以及辊锻质量有密切关系。选择孔型系时,除了需要考虑模锻对辊锻后坯料断面形状的要求外(例如模锻时,坯料以镦粗成形方式充满预、终锻模膛),还应着重考虑每道辊锻型槽应对坯料有良好的导向作用。忽略这一点,坯料将在辊锻过程中产生扭曲,甚至会使坯料尾部偏离型槽而制出废品。

1. 型槽孔型系

(1) 椭圆—方型槽孔型系(见图 7-9) 这是辊锻制坯中最常用的孔型系之一,具有以下优点:

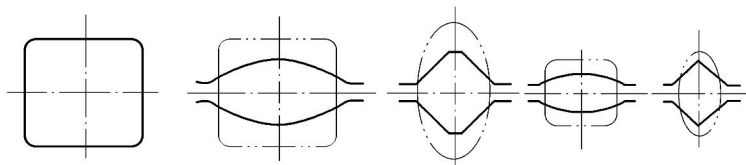


图 7-9 椭圆—方型槽孔型系

1) 坯料在椭圆—方型槽系中变形时,金属的四面均受到压缩,使坯料的角部经常变换位置。

在椭圆型槽中辊制方形坯料时,方形的棱角被压平,而在下一型槽(方形型槽)中辊锻时,方形棱角又在新位置上呈现出来,这样可使坯料周边的金属得到均匀的冷却。由于四面反复受压,对变形金属的组织与性能也有好的影响。

2) 可以获得较大的延伸系数:在椭圆型槽中延伸系数可以达到 2,在方形型槽中延伸系数可以达到 1.8,因此生产率高。

3) 椭圆断面坯料在方形型槽中及方形断面坯料在椭圆型槽中辊锻时稳定性较好, 该型槽孔型系的主要缺点是沿型槽宽度变形型槽分布不均匀。

(2) 椭圆—圆型槽孔型系 (见图 7-10) 这种型槽孔型系适合于辊锻低塑性金属坯料, 其优点是:

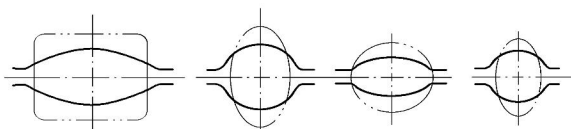


图 7-10 椭圆—圆型槽孔型系

1) 型槽周边皆由弧线构成, 因此能使坯料周边和断面形状平稳地转变, 所以能有效地防止在局部区域呈现局部应力。

2) 型槽没有尖角, 坯料断面能均匀地冷却, 在辊锻时不易产生裂纹, 能得到良好的表面。

椭圆—圆型槽系的缺点:

- 1) 允许的延伸系数较小, 一般为 $1.4 \sim 1.5$, 因此使变形道次增加。
- 2) 沿型槽宽度上变形分布不很均匀。
- 3) 椭圆坯料在圆形型槽中的稳定性不好, 往往要求使用导板。
- 4) 当坯料金属稍多时, 在圆形型槽中易于产生飞边。

(3) 菱—方型槽孔型系 (图 7-11) 其优点是:

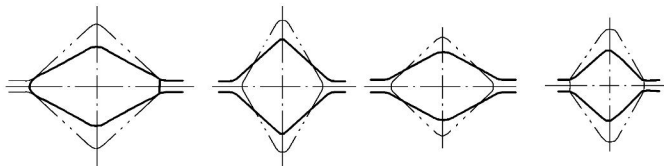


图 7-11 菱—方型槽孔型系

- 1) 能使坯料得到准确的方型断面。
- 2) 坯料型槽宽度的变形较均匀。
- 3) 能采用较大的延伸系数, 一般在 $1.4 \sim 1.8$ 范围内选取。
- 4) 辊锻时坯料的稳定性较好。

其缺点是坯料断面角隅处冷却快, 且只能在两个彼此垂直方向上变形, 易产生缺陷。

(4) 矩形型槽孔型系 其优点是坯料在整个断面的宽度上变形均匀, 辊锻时坯料不易发生扭转。但坯料只能在两个方向上变形, 辊锻后坯料断面形状不精确。

(5) 六角一方型槽孔型系 它与椭圆一方型槽孔型系很相似, 且具有在坯料宽度上变形更均匀的优点。

2. 坯料在型槽中的稳定性

坯料在型槽中的稳定性, 是关系到辊锻过程能否正常进行的重要问题。影响辊锻过程中坯料在型槽中的稳定性的因素有: 型槽的断面形状、辊制坯料的断面形状、轴长比的大小以及辊锻模的制造及安装精度等。

型槽形状和在该型槽中辊锻的坯料断面形状的相互配合关系不同, 其稳定性也不同。例如, 椭圆断面坯料在方形型槽中的稳定性就比其进入圆形型槽要好, 因为方形型槽侧壁对椭圆坯料有较好的夹持作用。因此, 不同型槽系的稳定性的条件是不同的。椭圆一方和六角一方型槽系具有较好的稳定性, 而椭圆—椭圆和菱—菱型槽系具有较差的稳定性。

坯料断面的轴长比 b/h 对稳定性有很大影响。送入型槽中的坯料轴长比越大, 变形量就越大, 但稳定性也越差, 因此欲增大变形量, 往往要受到稳定性条件, 即极限轴长的限制。但应指出的是, 辊锻时坯料在型槽内的稳定性, 比轧钢时要好得多, 因为轧钢时轧件很长, 长的轧件在轧制过程中很容易歪扭。因此在轧钢时, 轧辊前后都装右进出口导板。在辊锻时, 坯料短得多, 因此稳定性条件大为改善。例如, 椭圆或八角形坯料在方形型槽中辊锻时, 其断面轴长比达到 4 时仍可顺利进行辊锻, 所以不必使用导板。

各种形状坯料在不同的型槽中辊锻时, 其极限轴长比 a_0 如下:

椭圆坯料进方形型槽: $a_0 = 5.0$;

椭圆坯料进圆形型槽: $a_0 = 3.5$;

椭圆坯料进椭圆型槽: $a_0 = 2.5$;

菱形坯料进菱形型槽: $a_0 = 2.5$;

矩形坯料进箱形型槽: 无夹持时 $a_0 = 2.0$;

矩形坯料进箱形型槽: 有夹持时 $a_0 = 2.5$ 。

3. 常见辊锻型槽系的选择

在选择辊锻型槽系时, 要考虑以下原则:

1) 锻件模锻对辊锻毛坯几何形状的要求。在锻件模锻时, 从有利于模锻成形出发, 往往对毛坯断面的几何形状有一定的要求。在选择辊锻型槽系时, 这一因素必须加以考虑。如模锻要求毛坯具有椭圆形断面, 则在辊锻时就要考虑选用椭圆一方型槽系或“椭圆—圆”型槽系, 而不宜于选用其他型槽系。有时为了使毛坯形状适合模锻的要求, 在最后一道型槽中, 可以考虑采用具有限制展宽或者带有飞边的型槽。

2) 原始毛坯的几何形状(圆形、方形和矩形)。不同的原始毛坯断面形状, 与所选型槽系有直接的关系, 因此必须考虑这一情况。在变形允许的条件下, 通常

多选用圆坯，因为圆坯价格较为便宜。

3) 辊锻道次。根据延伸系数之值来确定是选用单型槽辊锻还是多型槽辊锻。在多型槽辊锻中，在每辊锻完一道移向下一型槽时，往往需要旋转 90° 或 45° 。

根据工厂的实践经验，推荐下列几种孔型系：

1) 圆（或方）—椭圆—圆：允许拔长系数较小，辊锻稳定性差，但型槽加工简单，适用于变形长度小于 150mm 的辊坯。

2) 圆（或方）—椭圆—方：允许拔长系数大，辊锻稳定性好，适用于变形长度大于 150mm 的辊坯。

3) 圆（或方）—菱形—方：允许拔长系数较大，辊锻稳定性较好，适用于要求辊坯几何形状准确、角度填充良好的方坯。

上述几种孔型系中，前两种应用最多（见图 7-12）。如果辊锻道数很多，可按选定的孔型系反复使用。

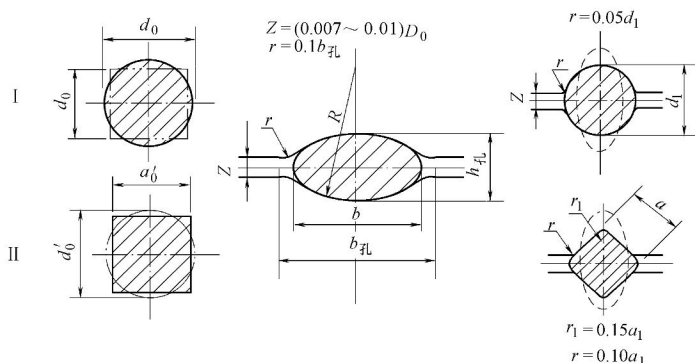


图 7-12 常用辊锻型槽孔型系

7.2.4 制坯辊锻型槽设计

制坯辊锻型槽设计的内容是确定各道次型槽的横向尺寸，设计方法有计算法和图解法。

1. 计算法

计算法所需的原始数据来自辊锻毛坯图和辊锻最后道次的坯料断面尺寸和断面的形状及尺寸。在确定辊锻道次 n 及型槽孔型系后，根据已知原始坯料断面尺寸和辊锻后坯料断面尺寸，在满足辊锻的咬入条件下，逐道次地计算变形，求出每一道次辊锻坯料断面尺寸，然后换算成型槽断面尺寸。按计算顺序，计算法可分为正算法和逆算法。变形计算的任务是计算每一道次的压下量和坯料的宽展变形，从而求出相应道次的坯料断面尺寸。正算法根据原始坯料尺寸，依辊锻顺序由前向后逐道进行计算；逆算法根据最后辊锻出的坯料断面尺寸，由后向前逐道进行计算。

(1) 椭圆孔型断面 计算目的是为了求得椭圆孔型断面的高度 $h_{\text{孔}}$ 及宽度 $b_{\text{孔}}$ 。当 $\delta=0.9$ 时, $h_{\text{孔}}$ 由下列经验公式求得

$$h_{\text{孔}} = \sqrt{\frac{A_{\text{椭}}}{0.756 + 0.623 \left(\frac{b_{\text{孔}}}{h_{\text{孔}}} - 1 \right)}}$$

$A_{\text{椭}}$ ——坯料的真实椭圆断面积, 是已知值。

上式中有 $h_{\text{孔}}$ 、 $b_{\text{孔}}$ 两个未知数, 因此要与下式联立求解。

$$\frac{b_{\text{孔}}}{h_{\text{孔}}} = \frac{\frac{b}{h}}{\delta}$$

式中, 右边分子 $b/h_{\text{孔}}$ 为轴长比, δ 为充满系数, 都是已知值。

将两式联立, 则可求得 $h_{\text{孔}}$ 、 $b_{\text{孔}}$ 。

当 $\delta \neq 0.9$, 公式中的经验数据有所变化, 具体公式如下:

$$\text{当 } \delta=1 \text{ 时, } h_{\text{孔}} = \sqrt{\frac{A_{\text{椭}}}{0.785 + 0.625 \left(\frac{b_{\text{孔}}}{h_{\text{孔}}} - 1 \right)}}$$

$$\text{当 } \delta=0.8 \text{ 时, } h_{\text{孔}} = \sqrt{\frac{A_{\text{椭}}}{0.703 + 0.608 \left(\frac{b_{\text{孔}}}{h_{\text{孔}}} - 1 \right)}}$$

$$\text{当 } \delta=0.7 \text{ 时, } h_{\text{孔}} = \sqrt{\frac{A_{\text{椭}}}{0.637 + 0.572 \left(\frac{b_{\text{孔}}}{h_{\text{孔}}} - 1 \right)}}$$

大圆弧 R 可用作图法 ($h_{\text{孔}}$ 、 $b_{\text{孔}}$ 已知, 过三点作一圆弧), 也可用下式求得

$$R = \frac{h_{\text{孔}}}{4} \left(1 + \frac{b_{\text{孔}}^2}{h_{\text{孔}}^2} \right)$$

两轧辊的间隙 $S = (0.007 \sim 0.01) D_0$, 一般取 $0.008 D_0$ 。 D_0 为两轧辊的中心距。

孔型边缘圆角半径 $r = 0.15 b_{\text{孔}}$ 。

(2) 方孔型断面 计算目的是为了求得方孔型的边长 c_1 。根据几何推导, 方孔型的边长为

$$c_1 = \sqrt{\frac{A_{\text{方}}}{\delta(2-\delta)}}$$

式中 $A_{\text{方}}$ ——坯料的真实方孔型断面面积;

δ ——型槽充满系数。

当 $\delta=0.9$ 时, 则

$$c_1 = \sqrt{\frac{A_{\text{方}}}{0.99}}$$

实际生产中, 金属不可能充满方孔型的上下两尖角, 型槽上下面顶端做成圆角 ($r_1 = 0.15a_1$)。为保证入的数值, 因此要适当加大 c_1 值:

$$c_1 = \sqrt{\frac{A_{\text{方}}}{0.98}}$$

两轧辊的间隙 $z = 0.008D_0$, 孔型边缘圆角半径 $r_1 = 0.1a_1$ 。

(3) 圆孔型断面

计算目的是求得圆孔型的直径 d_1 。按经验公式, 圆孔型的直径为

$$d_1 = \sqrt{\frac{4A_{\text{圆}}}{0.98\pi}}$$

式中 $A_{\text{圆}}$ ——坯料的真实圆形断面面积。

两轧辊的间隙 $z = 0.007D_0$, 孔型边缘圆角半径 $r = 0.05d_1$ 。

2. 型槽设计的图解方法

前面介绍了制坯辊锻型槽设计的计算方法, 采用计算方法设计时, 其计算过程仍是较为麻烦的。为简化型槽设计过程的变形计算, 本节中将介绍几种型槽系的图解设计方法。

(1) 圆—椭圆型槽系的单道次辊锻

在单道次辊锻时, 如已知锻辊中心距 D_0 、原始毛坯横断面面积 A_0 、辊锻后毛坯断面面积 A_1 及型槽充满程度 $\delta = 0.8$, 椭圆型槽设计可按以下步骤进行:

1) 求出延伸系数 λ_1

$$\lambda_1 = \frac{A_0}{A_1}$$

2) 求出 D_0/d_1 之值 (d_0 为原始毛坯直径)。

3) 根据求得的 λ_1 及 D_0/d_1 之值, 查图 7-13 (按图上箭头所示方法查取), 即可求出椭圆毛坯的轴长比 a_1 及压缩系数 d_0/h_1 之值。式中 h_1 为椭圆毛坯 (型槽) 高度。因 d_0 是已知的, 故

$$h_1 = \frac{d_0}{\frac{a_1}{h_1}}$$

4) 椭圆毛坯及型槽的其他几何尺寸:

$$\text{椭圆毛坯宽度: } b_1 = a_1 h_1 \quad (7-1)$$

$$\text{椭圆型槽轴长比: } a_k = \frac{a_1}{\delta} \quad (7-2)$$

$$\text{椭圆型槽理论宽度: } b_k = a_k h_1 \quad (7-3)$$

$$\text{椭圆型槽实际宽度: } b_1 = (h_1 - z) \sqrt{\frac{4R_k}{h_1 - z} - 1} \quad (7-4)$$

$$\text{椭圆型槽半径:} \quad R_k = h_1 \frac{1 + a_k^2}{4} \quad (7-5)$$

$$\text{椭圆型槽圆角半径:} \quad r = (0.1 \sim 0.2) b_k \quad (7-6)$$

椭圆型槽间隙 z 可在 $2 \sim 4\text{mm}$ 内选取。

已知 D_0 、 b_0 和 a_1 ，其延伸系数 λ_1 及压缩系数 d_0/h_1 亦可在图 7-13 中查取，然后设计出椭圆型槽尺寸。

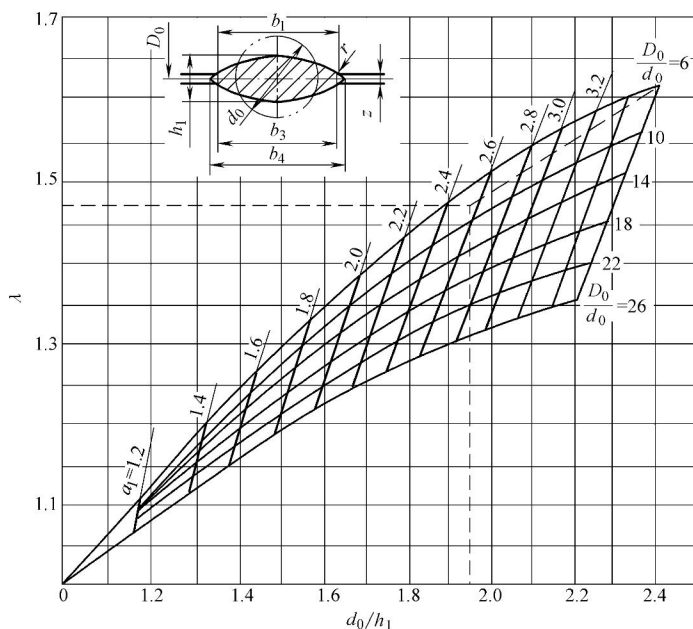


图 7-13 在椭圆型槽中辊锻圆形坯料时，计算椭圆坯料轴长比 a_1 及压缩系数 d_0/h_1 的图表，型槽充满程度 $\delta = 0.8$

(2) 圆—椭圆—圆型槽系的两道次辊锻

在选用圆—椭圆—圆型槽系两道次辊锻时，如已知锻辊中心距 D_0 ，原始坯料直径 d_0 和辊锻后最终直径 d_1 ，椭圆型槽充满程度取 $\delta = 0.8$ ，圆形型槽充满程度取 1.0，则其型槽设计步骤如下：

1) 计算 D_0/d_0 和 d_1/d_0 之值。

2) 查图 7-14 的上半部，可以求出椭圆毛坯的轴长比 a_1 ；在图表的下部，用已知的 D_0/d_0 和已求得的 a_1 确定 h_1/d_1 之值，然后用下式计算椭圆毛坯高度：

$$h_1 = \left(\frac{h_1}{d_1} \right) d_1$$

3) 根据以上计算结果，利用式 (7-1) ~ 式 (7-6) 计算椭圆型槽尺寸。

4) 圆形坯料在椭圆型槽中辊锻时的延伸系数 λ_1 由图 7-13 确定, 椭圆坯料在圆形型槽中辊锻时的延伸系数 $\lambda_2 = d_0^2 / (d_1^2 \lambda_1)$ 。

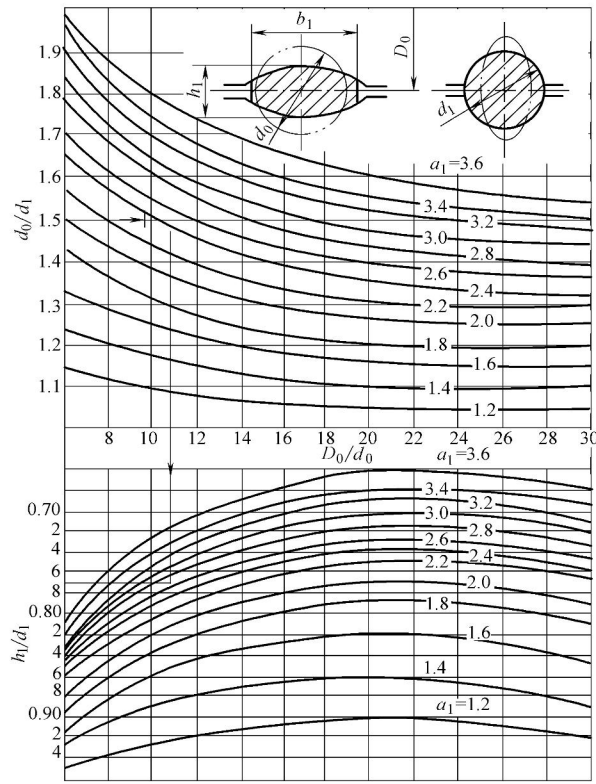


图 7-14 在圆—椭圆—圆型槽孔系两道次辊锻时, 计算椭圆坯料尺寸的图表, 椭圆型槽的充满程度为 0.8, 圆型槽为 1

(3) 圆—椭圆—方型槽孔型系的两次辊锻

已知条件是:

锻辊中心距 D_0 ;

原始坯料直径 d_0 和辊锻后方形坯料边长 c ;

椭圆和方形型槽充满程度均为 $\delta = 0.90$ 。

型槽设计步骤如下:

1) 计算之 D_0/h_{k2} 和 d_0/h_{k2} 值, h_{k2} 为方形型槽的理论高度及宽度。

2) 查图 7-15 上半部分, 求出椭圆坯料的轴长比 a_1 , 用已知的 D_0/h_{k2} 和已求得的 a_1 值查图 7-15 下半部分以确定 h_1/h_{k2} 之值。则椭圆型槽高度

$$h_1 = \left(\frac{h_1}{h_{k2}} \right) h_{k2}$$

3) 根据上述结果计算型槽尺寸。其中方形型槽的尺寸如下：

$$\begin{aligned} h_k &= \sqrt{2}c_1 \\ h_2 &= \sqrt{2}c_1 - 0.83r_1 \\ r_1 &= 0.15c_1 \\ r_2 &= 0.10c_1 \end{aligned}$$

椭圆型槽尺寸按式 (7-1) ~ 式 (7-6) 计算椭圆型槽尺寸。

4) 计算各道次延伸系数。在方形型槽中辊锻椭圆坯料的延伸系数为

$$\lambda_2 = \left(\frac{h_1}{h_{k2}} \right) [1.41(a_1 + 0.19)]$$

λ_1 可按已知条件及 λ_2 值来计算。

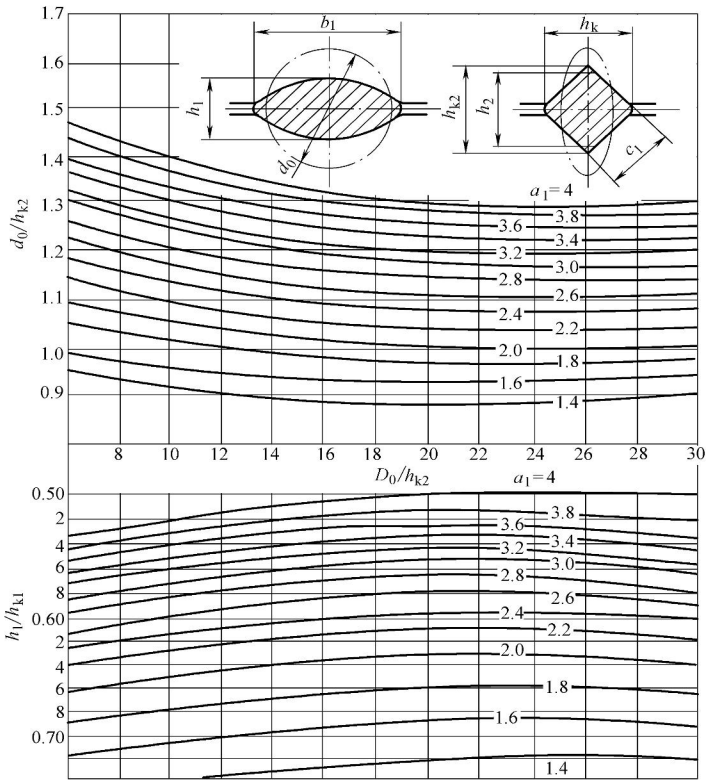


图 7-15 在圆—椭圆—方形槽孔系两道次辊锻时，计算椭圆坯料尺寸的图表，椭圆和方形槽的充满程度为 0.9

(4) 方—椭圆型槽孔型系的单道次辊锻（见图 7-16a）

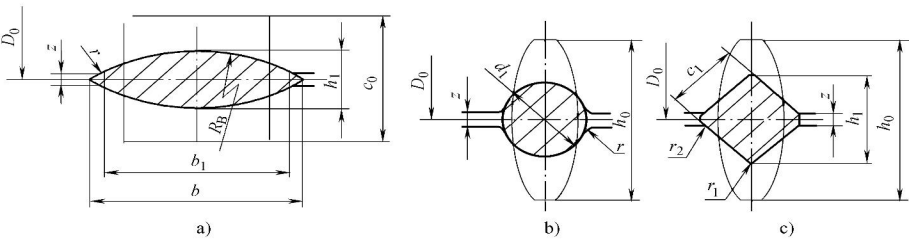


图 7-16 方—椭圆、方—椭圆—圆、方—椭圆—方型槽孔系

已知条件是：

锻辊中心距 D_0 ；

辊锻前和辊锻后的坯料断面面积 A_0 和 A_1 ；

方形断面原始坯料边长 c_0 ；

椭圆型槽的充满程度 $\delta = 0.8$ 。

型槽设计步骤如下：

- 1) 计算坯料在椭圆型槽中的延伸系数 $\lambda = A_0/A_1$ 和参数 D_0/c_0 。
- 2) 查图 7-17，求出椭圆断面坯料的轴长比 a_1 和压缩系数 c_0/h_1 。

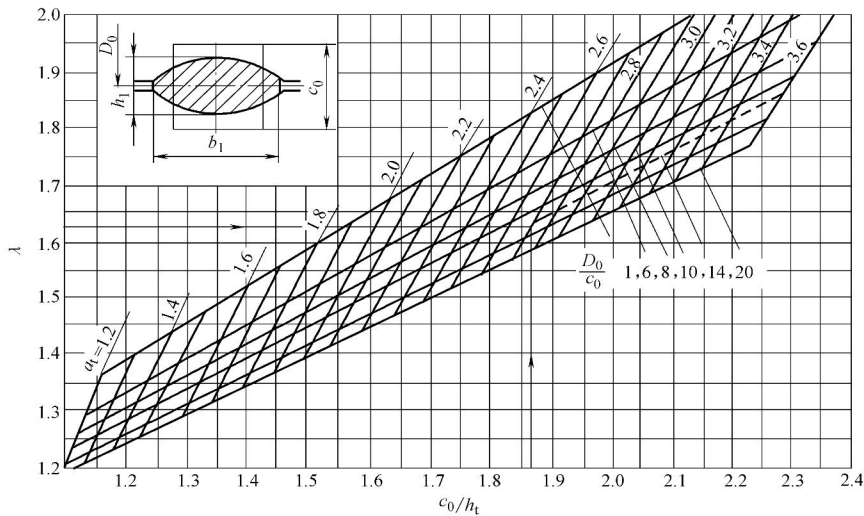


图 7-17 在方坯进入椭圆型槽辊锻时，确定椭圆坯料轴长比 a_1 和压缩系数 c_0/h_1 的图表（椭圆型槽充满程度 $\delta = 0.8$ ）

- 3) 计算椭圆坯料（或型槽）的高度 h_1 ；

$$h_1 = \frac{c_0}{\frac{c_0}{h_1}}$$

4) 按式 (7-1) ~ 式 (7-6) 计算椭圆型槽尺寸。

(5) 方—椭圆—圆型槽孔型系的两道次辊锻 (见图 7-16b)

已知条件是:

锻辊中心距 D_0 ;

方形断面原始坯料的边长 c_0 ;

两道次辊锻后的圆形断面坯料直径 d_1 ;

椭圆断面型槽充满程度 $\delta = 0.8$, 圆形断面型槽的充满程度 $\delta = 1.0$ 。

型槽设计步骤如下:

1) 计算 D_0/d_1 及 c_0/d_1 值。

2) 查图 7-18 上半部分, 求出椭圆坯料轴长比 a_1 , 然后按已知的 D_0/d_1 和已求得的 a_1 查图 7-18 下半部分确定 h_1/d_0 , 从而求出椭圆断面型槽高度 h_1 。

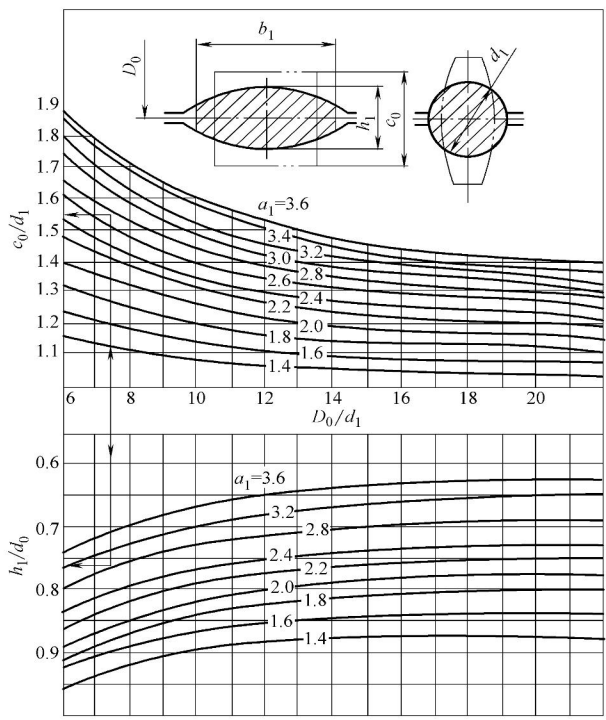


图 7-18 在方坯—椭圆—圆型槽系辊锻时, 决定椭圆坯料尺寸的图表 (椭圆型槽充满程度 $\delta_1 = 0.8$)

3) 按式 (7-1) ~ 式 (7-6) 计算椭圆模膛的其他尺寸。

4) 圆形断面型槽的圆角半径 $r = 0.2d_1$, 辊锻模具间隙 $z = (0.007 \sim 0.010)D_0$ 。

5) 计算各道次的延伸系数。第一道次的延伸系数 λ_1 按图 7-17 查取, 第二道次延伸系数 $\lambda_2 = \lambda_{\max}/\lambda_1$ 。

(6) 方—椭圆—方型槽孔型系两道次辊锻 (见图 7-16c)

已知条件是:

锻辊中心距 D_0 ;

方形断面原始坯料和两道次辊锻后坯料断面边长 c_0 及 c_1 ;

椭圆型槽充满程度 $\delta = 0.9$ 。

中间椭圆断面尺寸按图 7-19 确定, 步骤如下:

1) 计算出 D_0/h_{k2} 和 c_0/h_1 之值。

2) 查图 7-19 上半部分, 求出椭圆断面轴长比 a_1 , 然后按已知的 D_0/h_{k2} 和已求得的 a_1 值查图 7-19 下半部分, 求出 h_1/h_{k2} 之值。

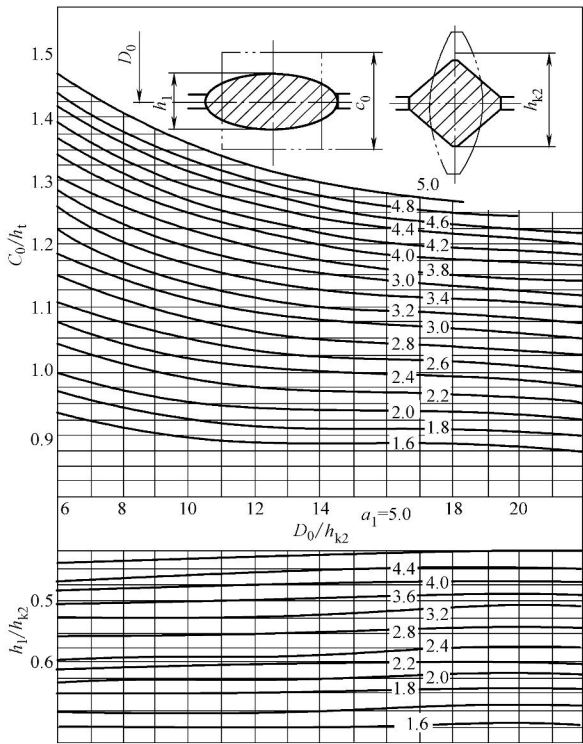


图 7-19 方—椭圆—圆型槽系决定椭圆坯料尺寸的图表
(椭圆型槽充满程度 $\delta = 0.9$)

3) 按式 (7-1) ~ 式 (7-6) 计算椭圆型槽的其他尺寸。

4) 方形断面型槽实际高度按 $h_2 = \sqrt{2}c_1 - 0.83r_1$ 计算, 圆角半径 $r_1 = 0.15c_1$, $r_2 = 0.10c_1$ 。

7.2.5 各工步辊锻纵向尺寸的计算

1. 辊锻毛坯过渡区段长度

辊锻毛坯过渡区段长度由毛坯的结构决定 (见图 7-20)。在各道次辊锻时, 过渡区段的金属体积保持不变, 由此得

$$l_{n-1} = \frac{l_n}{\lambda_n}$$

式中 λ_n ——第 n 道工步的拔长系数;

l_n ——第 n 道辊锻时在过渡区域的长度;

l_{n-1} ——在前一道辊锻时的该过渡区段长度。

由此可逐道计算出在各道辊锻时在该过渡区段的长度, 此楔形过渡区段的体积可按下面近似公式计算:

$$V = \frac{l}{3}(A_a + \sqrt{A_a A_b} + A_b)$$

式中 A_a 、 A_b ——楔形区段边界上的两横断面面积;

l ——楔形区段长度。

毛坯上楔形区段长度按以下公式确定:

$$l_{n-1} = \frac{(A_a + \sqrt{A_a A_b} + A_b)_n}{(A_a + \sqrt{A_a A_b} + A_b)_{n-1}} l_n$$

2. 型槽纵向长度尺寸的确定

在实际生产中, 后滑没有意义, 因为后滑区的坯料还未最后辊锻成形。所以一般只考虑前滑, 并以前滑率 S (坯料与轧辊的相对速度差) 表示。

$$S = \frac{v_{\text{坯}x} - v_{\text{辊}x}}{v_{\text{辊}x}}$$

若将上式乘以相同的时间 t , 则

$$S = \frac{L_d - L_k}{L_k}$$

式中 L_d ——对应于 L_k 的坯料长度;

L_k ——对应于 L_d 的轧辊上坯料弧长。

化简后得

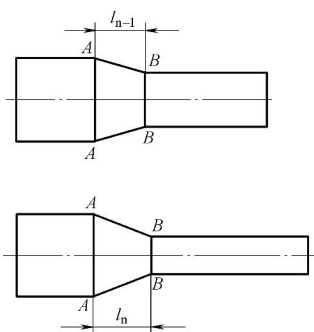


图 7-20 辊锻毛坯过渡区段长度

$$L_k = \frac{L_d}{1+S}$$

上式说明了考虑前沿的影响, 辊锻结果坯料的长度大于型槽的长度。为保证辊坯不致过长, 要将型槽做短一些。

前滑率 S 的数值, 根据区段不同的轧辊的送进方向而有所不同。

过渡区最小断面在前, 与轧辊的旋转方向一致, 容易咬入, 滑移小, $S = 0.02 \sim 0.04$ 。

过渡区最大断面在前, 咬入困难, 滑移大, $S = 0.06 \sim 0.12$ 。

断面不变, 滑移中等, 介于 A 、 C 之间, $S = 0.04 \sim 0.06$ 。

由于有前滑影响, 型槽的长度应较毛坯的相应区段的长度短。

型槽区段所对应的中心角 (rad):

$$\alpha = \frac{L_k}{R_z} = \frac{L_d}{R_z(1+S)} = \frac{L_d}{\frac{1}{2}(D_0 - h_1')(1+S)}$$

式中 R_z ——型槽作用半径, 在制坯辊锻时可取 $R_z = \frac{1}{2}(D_0 - h_1')$, D_0 为辊锻中心距, h_1' 为辊锻后毛坯的相应矩形高度。

如果在被研究的区段型槽高度尺寸连续变化, 则作用半径之值可按平均值计算。

3. 纵向型槽图的绘制

在辊锻模具设计时, 为了尺寸标记方便, 通常将型槽的纵向长度尺寸换算为模具的中心角 (rad), 即

$$\alpha_i = \frac{L_{ki}}{R_{zi}} = \frac{L_{di}}{R_z(1+S_i)} = \frac{L_{di}}{\frac{1}{2}(D_0 - h_{1i})(1+S_i)}$$

辊锻模具的纵向长度决定于型槽各区段长度之和:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_n + (0.175 \sim 0.262) \text{ rad}$$

将弧度转换成型槽总中心角:

$$\theta_i = \frac{180L_{di}}{\frac{\pi}{2}(D_0 - h_i)(1+S_i)} = \frac{360L_{di}}{\pi(D_0 - h_i)(1+S_i)}$$

则型槽总中心角:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \cdots + \theta_n + (10^\circ \sim 15^\circ)$$

辊锻模型槽尺寸公差均为 $\pm 0.2 \text{ mm}$, 角度公差均为 $\pm 3'$ 。模具中心角增加 ($10^\circ \sim 15^\circ$) 的目的在于容纳辊锻过程中可能出现的多余金属, 此部分多余金属一般是由坯料计算或模具加工误差所引起。

对于悬臂式辊锻机模具，包角一般不大于 270° ；对于双支承辊锻机模具，包角一般不大于 180° 。

为了绘制纵向型槽图，必须确定各个区段的中心角及该区的槽底半径。如图 7-21 中第二区段，需要确定该段型槽所对应的中心角 θ 及槽底半径 R 。

对于槽深相等的区段其槽底半径为

$$R = \frac{1}{2}(D_0 - h_k)$$

式中 h_k ——型槽高度。

对于较长的楔形区段的纵向轮廓，通常也按圆弧绘制，但其回转中心和辊子旋转中心不相重合。

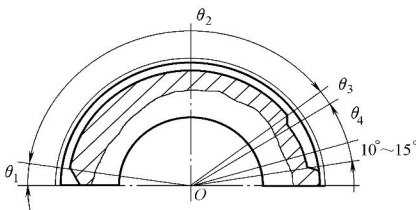


图 7-21 辊锻型槽对应中心角

此区段圆弧的圆心可采用近似的方法

确定：在全圆弧上适当选取若干个点，用拟合的方法确定出数个圆弧，以近似地代替该楔形区段。

在过渡的楔形区段一般可用直线连接。纵向型槽各区段间应圆滑过渡，所取圆角大小可视具体情况而定。

纵向型槽前部的形状和尺寸应与原始毛坯的形状和尺寸相适应（如圆坯、方坯和矩形坯），从纵向型槽头部到第一段型槽之间圆滑过渡。

7.2.6 辊锻机规格的选择

1. 辊锻变形力的确定

辊锻变形力是辊锻过程中的基本力学性能参数。正确地计算与确定辊锻力，对于选择辊锻设备与发挥辊锻设备的潜力具有重要意义。辊锻变形力是选择辊锻机的基本参数依据，可采用理论公式或经验公式的计算方法求得，也可以确定辊锻力矩并进而选择电动机功率。由于对辊锻过程金属变形理论和变形力的研究尚缺乏系统资料，因此虽有许多计算公式，但都不够难确。实际生产中，常按辊锻机与热模锻压力机的匹配关系参考表选择辊锻变形力（见表 7-4）。

表 7-4 辊锻机与热模锻压力机的匹配关系参考表

辊锻机公称直径/mm	240	300	370	460	560	680	800
热模锻压力机公称压力 /kN	6.3×10^3	10×10^3	20×10^3	30×10^3	$30 \times 10^3 \sim 40 \times 10^3$	$50 \times 10^3 \sim 60 \times 10^3$	$40 \times 10^3 \sim 80 \times 10^3$

2. 辊锻机规格选择和辊锻模的结构

选择辊锻机时，在保证能满足所需变形力的条件下，一般都以公称辊径来选择。确定所需辊径，应按以下方法进行。

1) 当辊坯不是很长（长度与最大直径之比，即长径比小于 10）时，选择公称辊径主要考虑坯料能比较容易地咬入轧辊之间。为此，我们需要研究咬入条件——端部自然咬入，这是轧制过程中的典型咬入方式。

从图 7-22 中可以看出，为了使坯料能咬入轧辊实现辊轧，必须满足 $T_{ox} \geq P_{ox}$ ，否则摩擦力不够，导致打滑。

$$T_{ox} = T_o \cos \alpha$$

$$P_{ox} = P_o \sin \alpha$$

式中 T_{ox} ——摩擦力 T_o 的水平分力；

P_{ox} ——摩擦力 P_o 的水平分力。

即
$$T_o \cos \alpha \geq P_o \sin \alpha$$

$$\frac{T_o}{P_o} \geq \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\mu \geq \tan \alpha$$

μ 为摩擦系数， α 为咬入角。

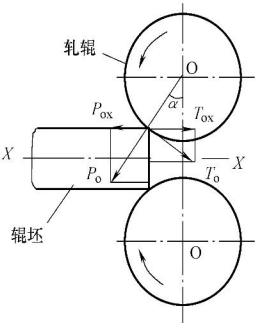


图 7-22 辊坯咬入条件

由以上分析可以得出结论：为实现咬入，必须使开始接触瞬间的摩擦系数大于咬入角的正切值，即只有在摩擦角 β 大于合力作用点至辊心连线与锻辊中心线间夹角 α 时，才能实现锻件的咬入。

以上为开始咬入条件。但当坯料咬入后继续辊锻时，正压力的合力 P 与轧辊中心线的夹角不是 α ，而是 β ，所以继续咬入条件只要能满足 $\beta = (1/3 \sim 1/2) \alpha$ 即可。其咬入角仅为开始咬入阶段咬入角的一半，便能维持辊锻过程的继续进行。因而在制坯辊锻时，为使咬入角增大，通常采用强制送进或坯料中部实现咬入的办法，这时咬入角有可能大于摩擦角。

钢材纵轧时的摩擦系数 μ 与 α_{max} 见表 7-5。

表 7-5 钢材纵轧时的摩擦系数 μ 与 α_{max}

钢材纵轧加工条件		μ	α_{max}
冷轧	无润滑剂	0.1 ~ 0.18	5° ~ 10°
	有润滑剂	0.03 ~ 0.08	3° ~ 4°
热轧	端部送料	0.35 ~ 0.47	20° ~ 25°
	中间送料或锥端送料		27° ~ 34°

在型槽中轧制（辊锻）时，咬入过程的基本原理与平辊中轧制矩形坯料的情况完全相同，只是多了型槽侧壁的作用。

在生产实际中，采用的型槽虽然多种多样，但就其在开始咬入时与坯料的接触情况而言，有两种典型情况：第一种情况与平辊中轧制矩形坯料的情况相似，如图 7-23a、b 所示；第二种情况是以型槽的斜壁（通称侧壁）与坯料首先接触而实现

咬入，如图 7-23c、d 所示，这是孔型轧制中具有代表性的一种接触情况（见图 7-24）。

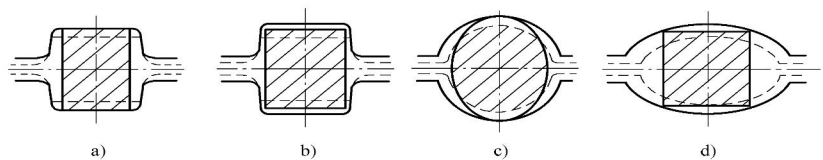


图 7-23 辊坯咬入情况

在这种情况下，其咬入条件为

$$\alpha < \frac{1}{\sin\theta} \beta$$

式中 θ ——型槽侧壁斜角。

由上式可见， θ 角越小，对咬入越有利，允许的最大压下量也就越大。

辊锻时，在坯料的中部实现咬入的方式称为中间咬入。

辊锻时，开始咬入的部位不是坯料的端部，而是坯料中间某部位首先与辊锻模接触。中间咬入可在型槽的某部位上进行，如图 7-25a 所示；也可直接利用辊锻模的模壁前沿实现，如图 7-25b 所示。

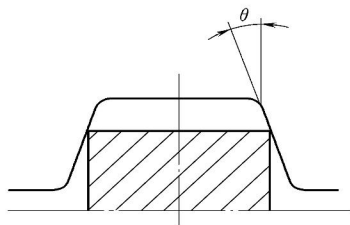


图 7-24 侧壁咬入

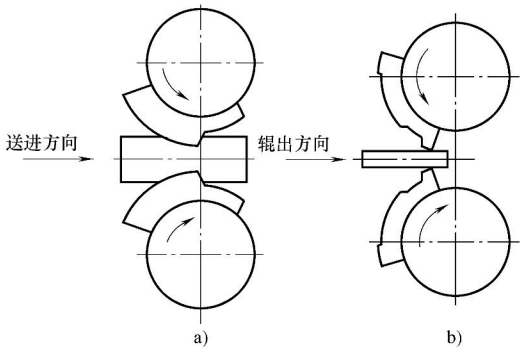


图 7-25 中间咬入

a) 型槽某部位上实现中间咬入 b) 辊锻模壁前沿实现中间咬入

在坯料端部自然咬入时，其咬入条件为咬入角必须小于或等于摩擦角（极限条件时）；而在中间咬入时，是由辊锻模的突出部位直接压入坯料的中间而实现咬入，相当于机械式钳入。因此，在咬入瞬间，并不受摩擦条件的影响，其咬入角可以很大，但咬入后要继续进行辊锻，必须防止打滑现象发生。

逆向送料辊锻的基本咬入形式是中间咬入，此种送进及咬入方式多用在制坯辊

锻及部分锻件的成形辊锻工艺上,如叶片等。顺向送料辊锻既可采用中间咬入,也可采用端部自然咬入,此种方式多用于成形辊锻。

制坯辊锻都采用毛坯中间咬入,因此最大咬入角 $\alpha_{\max} = 34^\circ$, 为保证此咬入角,相应的公称辊径 $D_0 \geq 6d_0$ 或 $D_0 \geq 6a_0$ (d_0 、 a_0 分别为原毛坯的直径、边长)。

2) 当辊坯细而长(长度与最大直径之比,即长径比大于 10)时,选择公称辊径主要考虑辊锻模的包角。为使扇形模的包角不超过 180° , 要求公称辊径 $D_0 = L/1.5$, L 为辊坯的总长度。

3. 辊锻模的结构

辊锻模的固定有两种形式:

1) 直接用螺钉固定在模套上(见图 7-26)。用于孔型道数多、角度大于 180° 的辊锻模,即模块宽而长的情况下。

2) 通过压板螺钉固定在模套上(见图 7-27)。用于孔型道数少、角度小于 180° 的辊锻模,即模块较小的情况下。

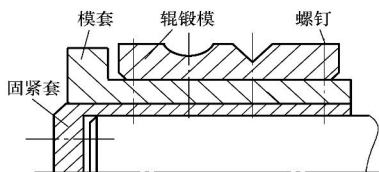


图 7-26 直接用螺钉固定在模套上

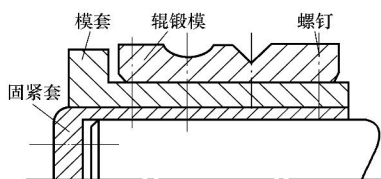


图 7-27 通过压板螺钉固定在模套上

型槽布置时应避开螺钉孔,两型槽间的最小间距 $z \geq 15 \sim 20\text{mm}$ (见图 7-28)。

辊锻是旋转运动,是连续的静压变形,因此辊锻模的材料性能比锤上锻模的可以差一些。

从工厂使用情况来看,45 钢就能满足要求。热处理硬度:型槽表面 $\text{HBC} = 45 \sim 50$, 其余部位 $\text{HBC} = 34 \sim 38$ 。此外,还可采用球墨铸铁作为模具材料。在成形辊锻且变形抗力较大(如耐热合金等)的情况下,为提高模具寿命,模具材料采用 5CrMnMo 或 3Cr2W8。

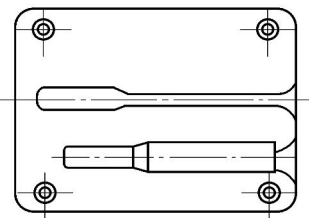


图 7-28 型模布置

为了提高模具寿命,辊锻前,模具预热至 200°C 左右;辊锻中,采用二硫化钼作润滑剂。

第 8 章 典型锻模零件设计实例

锻造工作者经过长期的实践、积累和比较，对一些典型锻件的模锻成形方式和工艺过程的认识已趋同一致，把基本相同的锻造成形方法和步骤归为同一类别，并把零件形状变化对模锻工艺的影响总结成规律，以便分析掌握。

8.1 锤上模锻典型锻模零件设计实例

8.1.1 常啮合齿轮工艺及锻模设计

常啮合齿轮是短轴类锻件中有代表性的锻件之一，下面将介绍它的锤模锻工艺流程制订，以及锻模设计的内容和步骤。

1. 根据零件图制订锻件图

锻件图（或称检验用锻件图）根据零件图（见图 8-1）制订。

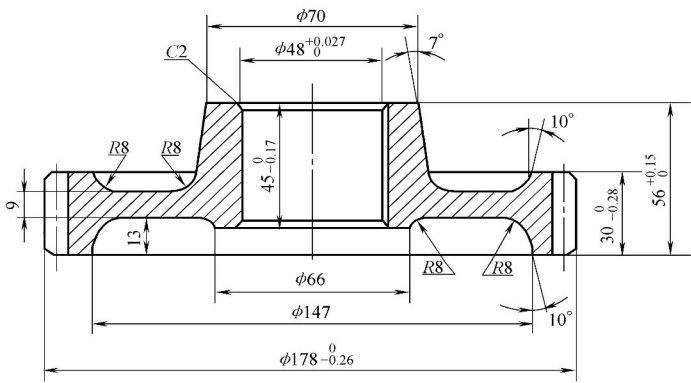


图 8-1 常啮合齿轮零件图

(1) 确定分模位置 常啮合齿轮为圆饼类锻件，其高径比为 $H/D = 55/178 = 0.31 < 1$ ，因此取径向分模。根据零件形状，分型面取为最大直径处的 1/2 高度位置。

(2) 公差和加工余量 估算锻件重量约为 5.22kg，外廓包容体重量为 12.05kg，零件材料为 18CrMnTi，材质系数为 M_1 ，形状复杂系数 S 为

$$S = \frac{m_{\text{锻}}}{m_{\text{外}}} = \frac{5.22}{12.05} = 0.433$$

即为Ⅱ级复杂系数 S_2 ，零件加工精度为一般加工精度 F_1 ，锻件在煤气加热炉中加热。

由 GB/T 12362—2003 《钢质模锻件公差及机械加工余量》或表 2-4 可查得：水平及高度方向的单边加工余量为 2.0~2.5mm，取 2mm；内孔单边加工余量为 2mm。零件尺寸加上加工余量即为锻件名义尺寸，可确定锻件各尺寸的公差，见表 8-1。精度等级为普通。

(3) 模锻斜度 外模锻斜度与零件图上一致，取 $\alpha = 7^\circ$ ，内模锻斜度取 $\beta = 10^\circ$ 。

(4) 圆角半径 零件内孔有倒角 $2\text{mm} \times 45^\circ$ ，故此处的外圆角半径为 $r = \text{余量} + \text{零件的倒角值} = 2.02\text{mm} + 2.0\text{mm} = 4\text{mm}$ ，其余外圆角半径为 2mm。零件图上规定的圆角半径不变。

(5) 连皮厚度 连皮厚度 t 为：

$$t = 0.45 \sqrt{d - 0.25h - 5} + 0.6h$$

可按内孔高度的一半作为 h ，即 $h = 24.5\text{mm}$ ，代入后，确定连皮厚度为 $t = 5.4\text{mm}$ 。连皮圆角半径应大于内圆角半径，取为 $R_1 = 10\text{mm}$ 。

(6) 技术条件

- 1) 图上未注明模锻斜度 7° 。
- 2) 图上未注明圆角半径 R_2 。
- 3) 允许的错差量 $\leq 1.2\text{mm}$ 。
- 4) 允许的残留飞边量 $\leq 1.2\text{mm}$ 。
- 5) 允许的表面缺陷深度 $\leq 1.0\text{mm}$ 。
- 6) 锻件热处理：正火。
- 7) 锻件表面清理：抛丸。

上述各项参数确定后，便可绘制锻件图，见图 8-2。

2. 确定锻件的基本数据

- 1) 锻件在平面图上的最大投影面积为 26015mm^2 。
- 2) 锻件周边长度为 572mm 。
- 3) 锻件体积为 664970mm^3 。
- 4) 锻件重量为 5.22kg 。

表 8-1 常啮合齿轮锻件尺寸的公差

零件尺寸/mm		锻件尺寸/mm	公差/mm
直 径	$\phi 178$	$\phi 182$	+2.4 -1.2
	$\phi 48$	$\phi 44$	+0.8 -1.7
		$\phi 39$	+0.8 -1.7
厚 度	55	59	+2.1 -0.7
	45	49	+2.0 -0.5
	30	34	+2.0 -0.5
允许错差量			≤ 1.2
允许残留飞边量			≤ 1.2
平面度			1.0

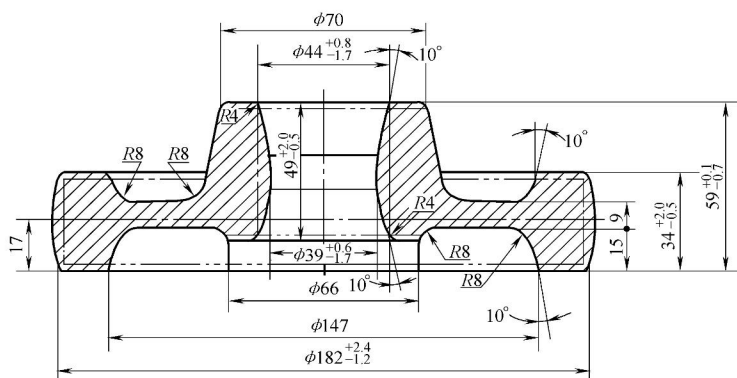


图 8-2 常啮合齿轮锻件图

3. 决定设备吨位

由表 2-15 可查得, $\sigma = 60 \text{ N/mm}^2$, $D = 18.2 \text{ cm}$, 代入半经验公式:

$$m = (1 - 0.005D) \left(1.1 + \frac{2}{D} \right)^2 (0.75 + 0.001D^2) D\sigma$$

$$= (1 - 0.005 \times 18.2) \left(1.1 + \frac{2}{18.2} \right)^2 (0.75 + 0.001 \times 18.2^2) \times 18.2 \times 60 \text{ kg}$$

$$= 1571 \text{ kg}$$

故选用 2t 模锻锤。

4. 确定飞槽尺寸

按照锻件在水平面上的投影面积 $A_f = 26015 \text{ mm}^2$, 由经验公式确定飞边槽桥部高度:

$$h = 0.015 \sqrt{A_f} = 0.015 \sqrt{26015} \text{ mm} = 2.42 \text{ mm}$$

查表 2-16 的尺寸表, 选定飞边槽尺寸: $h = 3.00 \text{ mm}$, $h_1 = 5 \text{ mm}$, $b = 12 \text{ mm}$, $b_1 = 32 \text{ mm}$, $A_k = 233 \text{ mm}^2$ 。

5. 终锻型槽设计

终锻型槽设计的主要内容是绘制热锻件图, 供制造型槽用, 热锻件图按冷锻件图加收缩率制订。常啮合齿轮考虑收缩率 1.5%, 模锻斜度, 内、外圆角的尺寸按冷锻件图不变, 绘制的热锻件图见图 7-3。

6. 确定制坯工步

齿轮类锻件一般采用镦粗制坯, 镦粗直径的确定需考虑锻件形状, 对常啮合齿轮锻件应满足 $(D_1 + D_2)/2 > D_{\text{墩}} > D_2$, 即 $\frac{182 + 147}{2} \text{ mm} = 164.5 \text{ mm} > D_{\text{墩}} > 147 \text{ mm}$ 。

取 $D_{\text{墩}} = 160 \text{ mm}$ 。

7. 决定坯料尺寸

锻件体积 $V_{\text{锻}} = 664970 \text{ mm}^3$ 。

飞边体积按飞边槽容积的 50% 计算, 即 $V_{\text{飞}} = 99700 \text{ mm}^3$ 。

取氧化烧损率为 $\delta = 2.5\%$, 则坯料体积为

$$V_{\text{坯}} = (1 + 2.5\%) (664970 + 99700) \text{ mm}^3 = 783800 \text{ mm}^3$$

取坯料高径比 $n = 2$, 则坯料直径为

$$d'_{\text{坯}} = 1.08 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{坯}}}{n}} = 1.08 \sqrt[3]{\frac{783800}{2}} \text{ mm} = 79.3 \text{ mm}$$

按标准规格选择坯料直径 $d_{\text{坯}} = 80 \text{ mm}$ 。

下料长度 $L_{\text{坯}}$ 为

$$L_{\text{坯}} = \frac{4V_{\text{坯}}}{\pi d_{\text{坯}}^2} = \frac{4}{\pi} \times \frac{783800}{80^2} \text{ mm} = 156 \text{ mm}$$

考虑到下料误差, 取 $L_{\text{坯}} = 159 \text{ mm}$, 则坯料尺寸为 $\phi 80 \times 159 \text{ mm}$ 。

8. 锻模结构设计 (见图 8-3)

1) 型槽布置: 镦粗台布置在锻模的左前角, 其高度固定, 操作方便, 坯料镦粗后距各边缘的距离不小于 10mm。由于是轴对称锻件, 故终锻型槽中心就是形心, 应与锻模中心重合。

2) 锁扣尺寸: 采用圆形锁扣, 锁扣高度 $H = 36 \text{ mm}$, 最小宽度不得小于 40mm, 锁扣侧面间隙为 0.3mm, 由上模做出。采用 A 形锁扣, 故飞边仓部尺寸有所增大。锁扣其余尺寸见图 8-3。

3) 模块尺寸: 根据型槽尺寸、镦粗台尺寸、锁扣宽度、型槽壁厚、承击面等初步算出模块平面尺寸; 按型槽最大深度、2t 锤的最小闭合高度、锻模翻新量等因素决定模块高度尺寸; 由表 2-44 可确定模块宽度为 500mm、高度为 380mm、长度定为 450mm、承击面约为 970 cm^2 , 远大于 2t 锤允许的最小承击面 ($450 \sim 500 \text{ cm}^2$)。

按上述设计计算结果, 绘制出锻模结构图, 如图 8-3 所示。

8.1.2 汽车连杆工艺及锻模设计

连杆是长轴类锻件中有代表性的锻件之一。现以汽车连杆为例, 介绍它的锤模锻工艺流程制订以及锻模设计的内容和步骤。汽车连杆是汽车发动机的主要零件之一, 工作时在高速下运转, 工作条件比较繁重。连杆的形状比较复杂, 既有和曲轴的拐颈相连接的半圆叉形大头部, 又有工字形断面的杆部, 还有通过活塞销与活塞相连接的小头部。除了叉部和小头部需要机械加工外, 其他工字形断面杆部等都不加工, 所以对连杆锻件的尺寸要求比较严。

1. 根据零件图制订锻件图

(1) 分模位置 从连杆零件的外形很容易确定锻件的分模位置 (见图 8-4), 应选择的高度尺寸 38mm 的中间处, 沿零件高度方向对称分模。

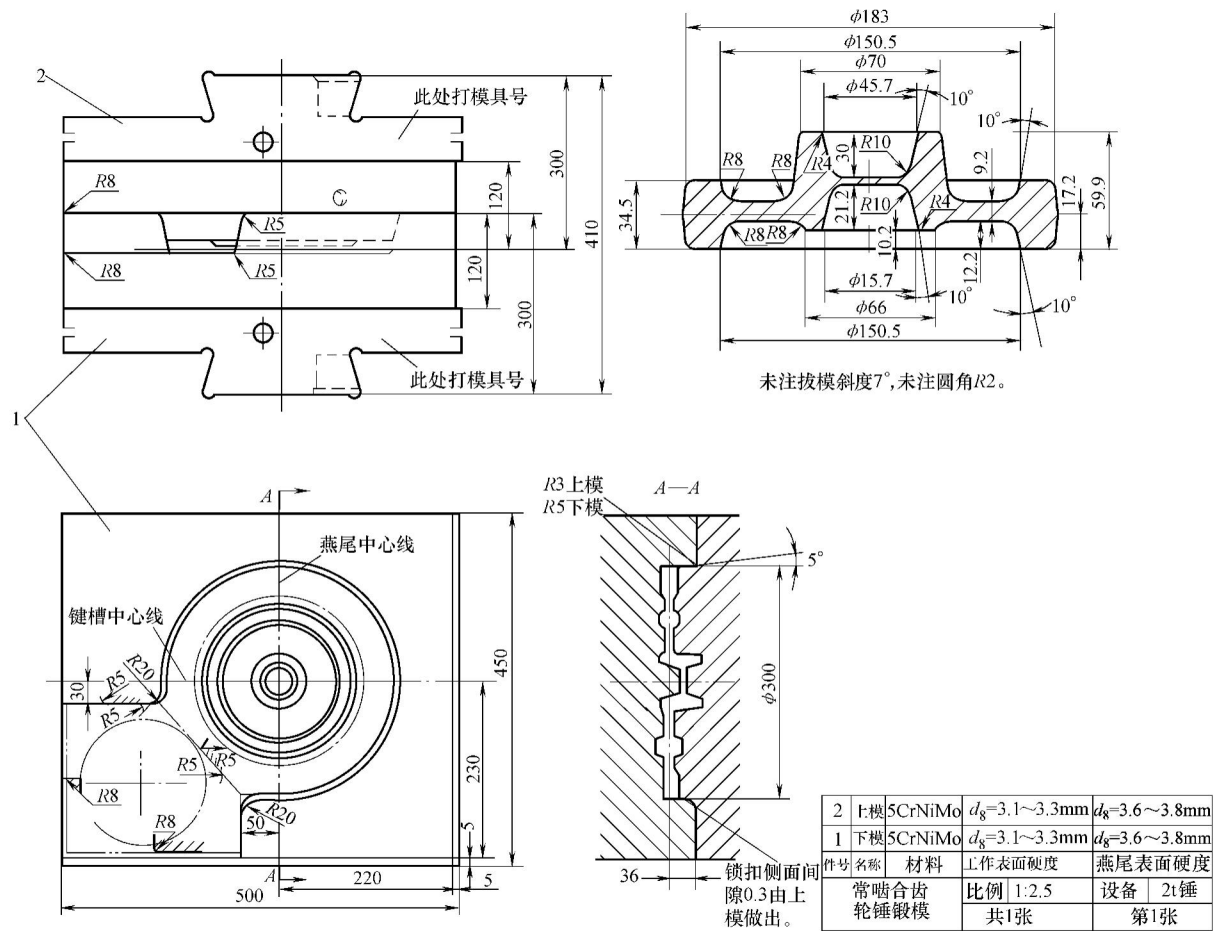


图 8-3 常啮合齿轮锤锻模图

(2) 公差和加工余量 估算锻件重量约 1.4kg, 连杆材料为 40 钢, 即材质系数为 M_1 。形状复杂系数:

$$S = \frac{m_{\text{锻}}}{m_{\text{外}}} = \frac{1400}{24 \times 10 \times 4 \times 7.85} = 0.19$$

为 3 级复杂系数 S_3 。

由 GB/T 12362—2003 《钢质模锻件公差及机械加工余量》或表 2-4 查得: 高度公差为 $^{+1.4}_{-0.6}\text{mm}$, 长度公差为 $^{+1.9}_{-0.9}\text{mm}$, 宽度公差为 $^{+1.5}_{-0.7}\text{mm}$ 。

零件需磨削加工, 即加工精度为 F_2 , 由表 2-5 查得高度及水平尺寸的单边余量均为 1.7~2.2mm, 一般取 2mm。

在大量生产的条件下, 连杆锻件在机械加工时用大小头端面定位, 要求大小头端面在同一平面上的精度较高, 100mm 内为 0.6mm, 而模锻后的高度公差较大, 达不到上述要求, 故锻件在热处理后增加一道压印 (平面冷精压) 工序。锻件经压印后, 机械加工余量可大大减小, 取 0.75mm, 压印后的锻件高度公差取 0.2mm。

连杆锻件压印后, 大小头高度尺寸为 $(38 + 2 \times 0.75)\text{mm} = 39.5\text{mm}$, 单边压印余量取 0.4mm, 同时模锻后大小头部的高度尺寸为 $(39.5 + 2 \times 0.4)\text{mm} = 40.3\text{mm}$ 。

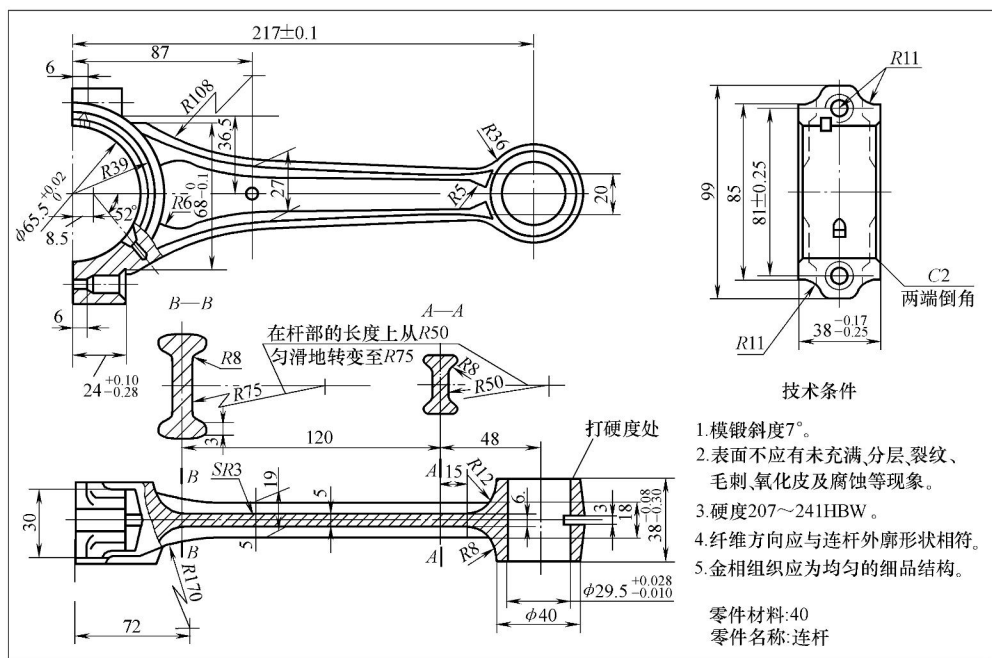


图 8-4 连杆零件图

由于压印需要余量, 如锻件高度公差为负值时 (-0.6mm), 则实际单边压印余量仅 0.1mm, 为保证适当的压印余量, 锻件高度公差调整为 $^{+1.4}_{-0.3}\text{mm}$ 。

由于压印后, 锻件水平方向的尺寸稍有增大, 故水平方向的余量可适当减小。

(3) 模锻斜度 零件图上的技术条件中, 已给出模锻斜度为 7° 。

(4) 圆角半径 锻件高度余量为 $(0.75 + 0.4) \text{ mm} = 1.15 \text{ mm}$, 则需倒角的叉内圆角半径为 $(1.15 + 2) \text{ mm} = 3.15 \text{ mm}$, 取 3 mm , 其余部位的圆角半径取 1.5 mm 。

(5) 技术条件

- 1) 图上未标注的模锻斜度 7° 。
- 2) 图上未标注的圆角半径 1.5 mm 。
- 3) 允许的错差量 0.6 mm 。
- 4) 允许的残留飞边量 0.7 mm 。
- 5) 允许的表面缺陷深度 0.5 mm 。
- 6) 锻件热处理: 调质。
- 7) 锻件表面清理: 为了便于检查淬火裂纹, 一般用酸洗。

在零件图上加上余量, 即可绘制锻件图, 见图 8-5。

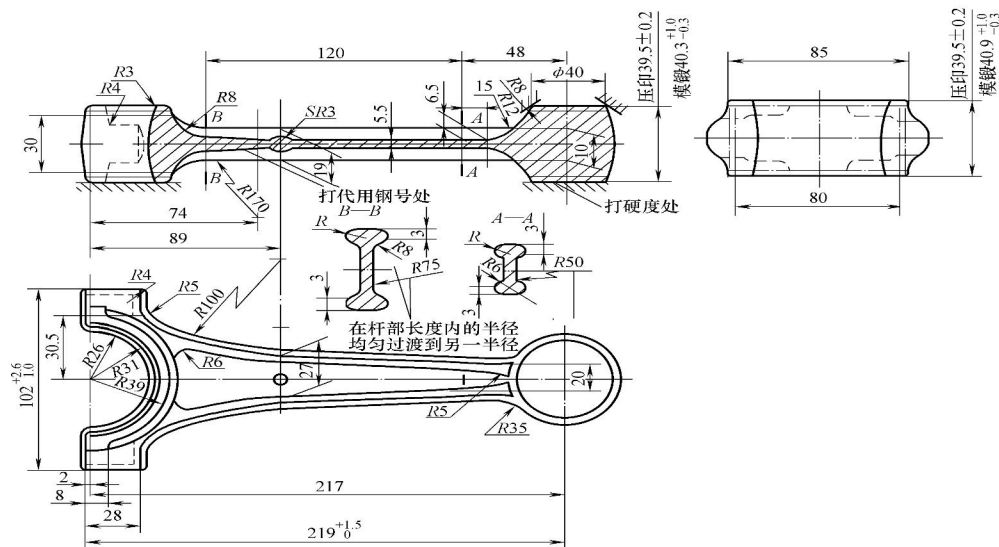


图 8-5 连杆锻件图

2. 计算锻件的主要参数

- 1) 锻件在平面图上的投影面积为 8000 mm^2 。
- 2) 锻件周边长度为 680 mm 。
- 3) 锻件体积为 184000 mm^3 。
- 4) 锻件重量为 1.44 kg 。

3. 决定设备吨位

总变形面积为锻件在平面图上的投影面积与飞边面积之和, 数据按选用表 2-17 的 1~2t 锤飞边槽尺寸考虑, 假定飞边平均宽度为 23mm。总变形面积 $A = (8000 + 680 \times 23) \text{mm}^2 = 23600 \text{mm}^2$ 。因生产中要求高生产率, 按确定吨位的经验公式:

$$m = 6.3KA = 6.3 \times 1 \times 23600 \text{kg} \approx 1500 \text{kg}$$

选用 1.5t 锤。

4. 决定飞边槽的形式和尺寸

参考表 2-17 的表中的形式。参考 1~2t 锤的数据, 其尺寸按表 2-17 确定: $h = 1.6 \text{mm}$, $h_1 = 4 \text{mm}$, $b = 8 \text{mm}$, $b_1 = 25 \text{mm}$, $r = 2 \text{mm}$; $A_K = 126 \text{mm}^2$ 。

因杆部断面面积太小, 拔长难以达到最小断面面积的要求, 需增大飞边槽仓部宽度 b_1 ; 大头部分叉口较宽分料困难, 流入飞边槽的金属较少, 将该处 b_1 减小到 12mm。这样修改以后, 会使型槽安排紧凑, 并且增加承击面积。

锻件飞边平均断面面积: $A_{\text{飞}} = 0.7A_K = 88 \text{mm}^2$

飞边体积: $V_{\text{飞}} = 680 \times 88 \text{mm}^2 \approx 60000 \text{mm}^3$

5. 确定终锻型槽

连杆热锻件图考虑 1.5% 的冷缩率。根据生产中的经验总结, 考虑到锻模使用后承击面下陷, 型槽深度减小及精压时变形不均、横向尺寸增大等因素, 修改了几处尺寸: 辐板处增厚 0.5mm; 连杆小头高度 40.3mm 处, 理论上应为 40.9mm, 实际取为 41.6mm; 大头上下平面做成斜面, 将高度尺寸 41.6mm 上下各增加 0.7mm; 小头 $\phi 40 \text{mm}$ 应为 $\phi 40.6 \text{mm}$, 而实际仍为 $\phi 40 \text{mm}$ 等。绘制的热锻件图见图 8-6。

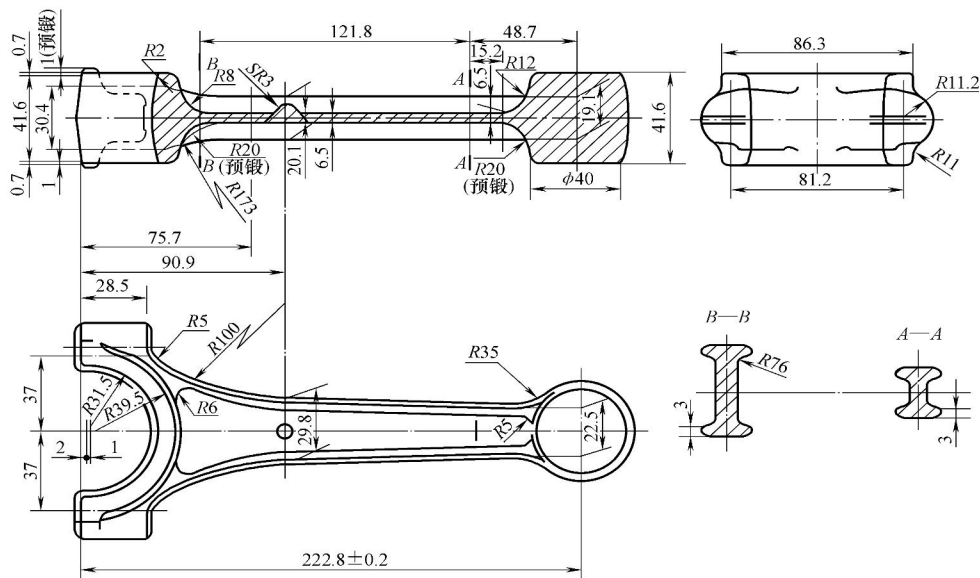


图 8-6 连杆热锻件图

6. 设计预锻型槽

由于锻件形状复杂, 需设置预锻型槽。预锻型槽需在叉部采用劈料台 (见图 2-44), 型槽参数为

$$B_1 = 0.25B = (0.25 \times 31.5 \times 2) \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

$$h = (0.4 \sim 0.7)H = (0.5 \times 42) \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}$$

R 取 25mm。

劈料台的形状、尺寸详见图 8-7 中的 $B-B$ 、 $C-C$ 、 $A-A$ 剖面。

在工字形断面杆部, 辐板较薄而宽, 为防止终锻时锻件产生折纹, 应使预锻型槽面积稍小于或等于终锻型槽相应处的断面面积 (不计预锻打不靠的断面面积), 如图 8-6 之 $B-B$ 剖面所示。辐板和肋转角处外圆角半径由 8mm 增大到 10mm, 型槽高度减小为 16mm, 均由作图确定, 使 $A_{\text{预}} \leq A_{\text{终}}$ 。

预锻型槽沿分型面处的圆角半径增大为 5mm。此外, 预锻型槽与终锻型槽不同的地方均在热锻件图上注明 (见图 8-6)。

7. 作计算毛坯图

根据连杆形状的特点, 共选取 13 个断面, 分别计算 $A_{\text{锻}}$ 、 $A_{\text{计}}$ 和 $a_{\text{计}}$, 列于表 8-2, 并在坐标纸上绘出连杆的断面图和计算毛坯图, 见图 8-8。为了设计滚挤型槽方便, 断面图和计算毛坯图按锻件热尺寸计算。

由断面图所围面积, 即为锻件体积, 得 $V = 20 \times 12512 \text{ mm}^3 = 250240 \text{ mm}^3$ 。

$$\text{平均断面面积 } A_{\text{均}} = \frac{250240}{248} \text{ mm}^2 = 1009 \text{ mm}^2。$$

$$\text{平均断面边长 } a_{\text{均}} = \sqrt{A_{\text{均}}} = 31.8 \text{ mm}。$$

按体积相等修正断面图和计算毛坯图 (见图 8-8 中双点划线部分)。修正后最大断面面积为 2440 mm^2 , 则最大断面边长为 $a_{\text{max}} = 49.4 \text{ mm}$ 。

8. 制坯工步选择

计算毛坯为二头一杆, 应简化成两个简单计算毛坯来选择制坯工步。

$$\alpha_1 = \frac{a_{1\text{max}}}{a_{\text{均}}} = \frac{49.4}{31.8} = 1.53$$

$$\beta_1 = \frac{L_{\text{件}}}{1.13a_{\text{均}}} = \frac{154}{1.13 \times 31.8} = 4.3$$

$$m_{1\text{坯}} > 1 \text{ kg}$$

按图 2-52, 此锻件采用拔长—滚压工步。为易于充满, 应选用方坯料, 先拔长, 后开式滚压, 整个工步为: 拔长—开式滚压—预锻—终锻。

9. 确定坯料尺寸

由断面图可知, $a_{\text{min}} = 21.5 \text{ mm}$, $V_{\text{杆}} = 80305 \text{ mm}^3$, $L_{\text{杆}} = 109 \text{ mm}$, 故可决定拐点处尺寸:

$$a_{\text{拐}} = \left(\sqrt{3.82 \times \frac{80305}{105} - 0.75 \times 21.5 - 0.5 \times 21.5} \right) \text{ mm} = 42.1 \text{ mm}$$

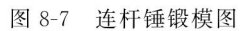


表 8-2 计算毛坯的计算数据

断面号	$A_{\text{锻}} / \text{mm}^2$	$A_{\text{飞}} = 2A_{\text{飞槽}} \text{ 或 } 1.4A_{\text{飞槽}} / \text{mm}^2$	$A_{\text{计}} = A_{\text{锻}} + A_{\text{飞}} / \text{mm}^2$	$a_{\text{计}} = \sqrt{A_{\text{计}}} / \text{mm}$	修正 $A_{\text{计}} / \text{mm}^2$	修正 $a_{\text{计}} / \text{mm}$	K	$h = K(\text{修正 } a_{\text{计}}) / \text{mm}$
1	246	252	498	22.3	—	—	1.1	24.5
2	1658	176	1834	42.8	2000	44.7	1.1	49.2
3	1612	176	1788	42.3	2440	49.4	1.2	59.3
4	1888	176	2064	45.4	1480	38.5	1.1	42.4
5	2392	176	2568	50.7	1300	36.1	1.1	39.7
6	308	176	484	22	—	—	0.8	17.6
7	300	176	476	21.8	—	—	0.8	17.4
8	268	176	444	21.1	—	—	0.8	16.9
9	776	176	952	30.9	—	—	0.9	27.8
10	1600	176	1776	42.1	—	—	1	42.1
11	1764	176	1940	44.1	—	—	1	44.1
12	1600	176	1776	42.1	—	—	1	42.1
13	0	252	252	15.9	—	—	0.9	14.3

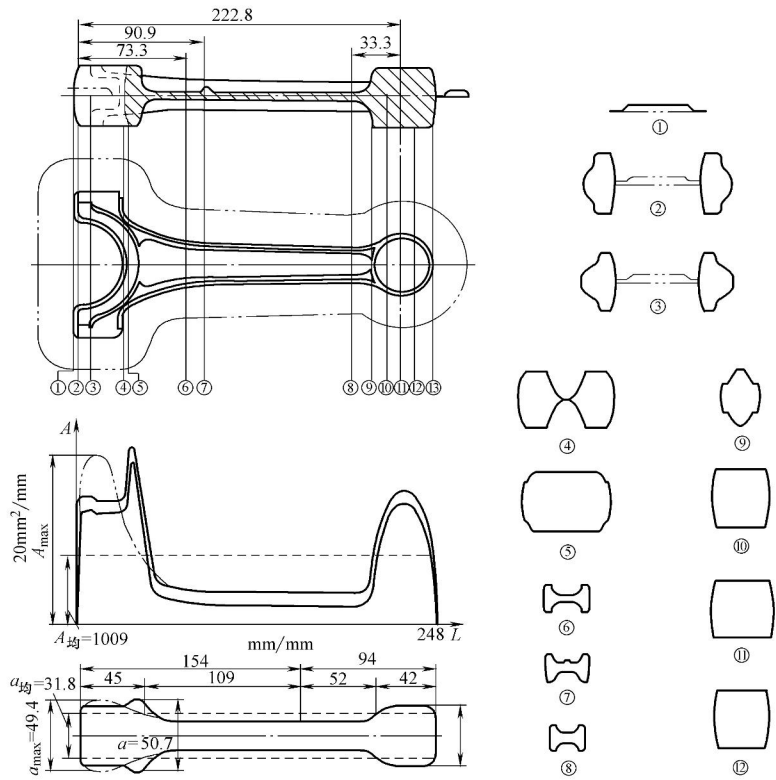


图 8-8 连杆剖面图和计算毛坯图

故杆部锥度为

$$K = \frac{a_{\text{拐}} - a_{\text{min}}}{L_{\text{杆}}} = \frac{42.1 - 21.5}{109} = 0.189$$

由锤上制坯坯料断面计算,按断面图有关尺寸:

$$A_{\text{拔}} = \frac{V_{\text{头}}}{L_{\text{头}}} = \frac{96000}{45} \text{mm}^2 = 2130 \text{mm}^2$$

$$A_{\text{滚}} = (1.05 \sim 1.2) A_{\text{均}} = (1.1 \times 1009) \text{mm}^2 = 1110 \text{mm}^2$$

$$\text{因而, } A'_{\text{坯}} = A_{\text{拔}} - K(A_{\text{拔}} - A_{\text{滚}}) = [2130 - 0.189(2130 - 1110)] \text{mm}^2 = 1940 \text{mm}^2$$

$$a'_{\text{坯}} = \sqrt{1940} \text{mm} = 44 \text{mm}$$

取 $a'_{\text{坯}} = 45 \text{mm}$ 。

坯料体积为

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{锻}} + V_{\text{飞}})(1 + \delta) = \left[\frac{250240}{1.015^3} (1 + 3\%) \right] \text{mm}^3 = 250000 \text{mm}^3$$

式中 δ ——烧损率。

坯料长度

$$L_{\text{坯}} = \frac{V_{\text{坯}}}{c_{\text{坯}}} = \frac{250000}{45^2} \text{mm} = 123 \text{mm}$$

根据坯料的重量和长度,适于采用调头模锻,一料两件,料长为 $123 \times 2 = 246 \text{mm}$ 。经试锻调整后,下料长度定为 274mm 。

10. 制坯型槽设计

(1) 滚压型槽设计 采用开式滚压,按表 2-26 则有:

1) 型槽高度 $h = kd$,可按各断面的高度值绘出滚压纵剖面外形(见图 8-9),然后用圆弧或直线光滑连接并进行简化。

2) 型槽宽度为

$$\text{杆部: } B_{\text{杆}} > \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}} + 10 \text{mm} = \left(\frac{464}{16.9} + 10 \right) \text{mm} \approx 38 \text{mm}$$

$$\text{头部: } B_{\text{头}} > d_{\text{max}} + 10 \text{mm} = (1.13 \sqrt{A_{\text{max}}} + 10) \text{mm} = 66 \text{mm}$$

经试生产,调整型槽宽度为 $B = 80 \text{mm}$ 。

3) 型槽的长度等于毛坯图的计算长度。

4) 试用调整后,修改个别尺寸:最大高度 h 由 59.3mm 改为 81mm ,以容纳氧化皮;小头部分作出一定斜度,简化后的滚压型槽如图 8-9 所示。

(2) 拔长型槽设计

1) 拔长坎高度

$$h = k_2 \sqrt{\frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}}} = \left(0.9 \times \sqrt{\frac{57440}{161}} \right) \text{mm} = 17 \text{mm}$$

2) 拔长坎长度

$$l = k_3 d_{\text{坯}} = k_3 \times 1.13 a_{\text{坯}} = 1.13 \times 45 k_2 = 51 k_2$$
$$L'_{\text{坯}} = 35 \text{mm}, k_3 = 1.1$$
$$l = 56 \text{mm}$$

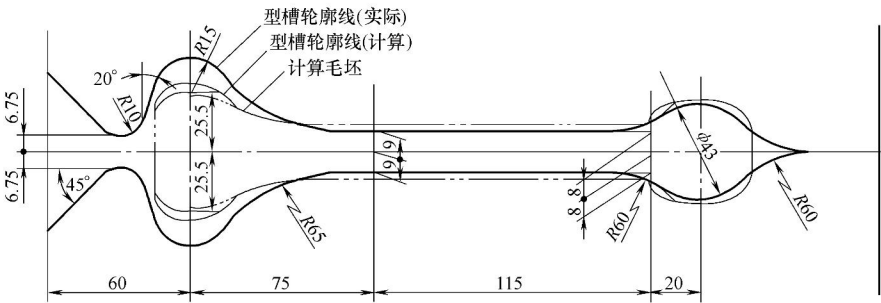


图 8-9 开式滚压型槽外形设计

3) 圆角圆弧半径

$$R = 0.25l = (0.25 \times 56) \text{mm} = 14 \text{mm}$$
$$R_1 = 10R = 140 \text{mm}$$

4) 型槽宽度

$$B = k_4 d_{\text{坯}} + (10 \sim 20) \text{mm} = (1.35 \times 51 + 10) \text{mm} = 78.85 \text{mm}$$

取 $B = 75 \text{mm}$ 。

5) 型槽深度

$$e = 1.2 d_{\text{头}} = (1.2 \times 43) \text{mm} = 53 \text{mm}$$

6) 拔长型槽长度

$$L_{\text{拔}} = 195 \text{mm}$$

按上述设计可锻出合格锻件，但为提高生产率，将拔长型槽的 h 缩小， R 、 R_1 增大， l 增大，拔长过程只需打击三次。将计算数值与实际数值比较，如表 8-3 所示。

表 8-3 连杆锻模拔长型槽尺寸 (单位：mm)

型槽尺寸	h	l	R	R_1
数 值				
计算数值	17	56	14	140
目前采用数值	14	77	30、32	150

采用图 8-10 实线所示的拔长型槽，拔长后的毛坯形状见图 8-11。拔长部分某些断面小于计算毛坯最小断面，但拔长部分长度比计算毛坯相应部分长度小，结果

在滚压时靠近大小头的部分金属除流向头部外，还向杆部流动，滚压时整个毛坯长度还有一定的增长。由此可知，拔长后需要滚压。为减少拉长打击次数，可减小拉长坎高度、增大圆角和圆弧半径。拔长后毛坯表面是否粗糙不影响锻件质量，毛坯的长度可比相应的计算毛坯长度短一些，以减小滚压端部毛刺。

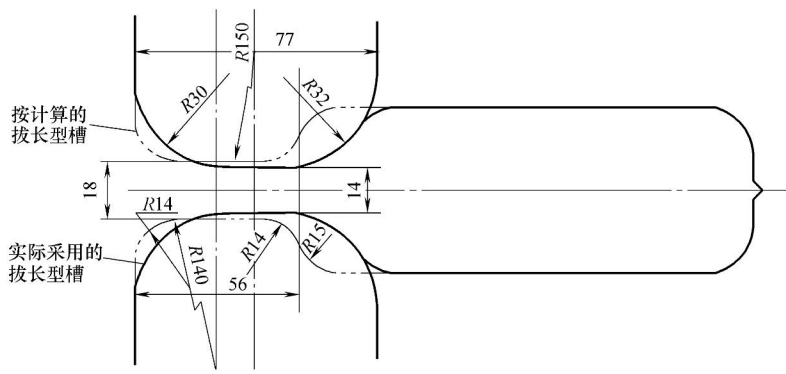


图 8-10 连杆锻模拔长型槽设计

11. 锻模结构设计 (见图 8-7)

模锻此连杆的 1.5t 模锻锤机组，加热炉在锤的右方，故拔长型槽布置在右边，滚压型槽在左边，预锻及终锻工步从左至右。

锻模采用纵向锁扣。为保证左右两边滚压和拔长型槽处上模锁扣强度，将两型槽中心线分别下移 5mm 和 4.5mm。

锻件宽度为 $(81.2 + 2 \times 11.2) \text{ mm} = 103.6 \text{ mm}$ ，模壁厚度为 $t_0 = 1 \times \frac{43}{2} \text{ mm} = 21.5 \text{ mm}$ 。预锻型槽与终锻型槽的中心距 = $(103.6 + 21.5) \text{ mm} = 125.1 \text{ mm}$ ，取为 125mm。

考虑锻模应有足够的承击面，锁扣之间宽度取 305mm，可使承击面达 52000 mm^2 。

燕尾中心线至检验边的距离为 $\left(155 + 125 \times \frac{2}{3}\right) \text{ mm} = 238 \text{ mm}$ ，取为 255mm。

用实测方法找出终锻型槽中心离连杆大头前端 115mm，结合模块长度及钳口长度定出键槽中心线的位置为 165mm。

按表 2-18，可选择钳口尺寸 $B = 90 \text{ mm}$ ， $h = 40 \text{ mm}$ ， $R_0 = 15 \text{ mm}$ 。因为调头模锻，钳口尺寸应考虑第一件终锻后的飞边不影响第二件模锻，故定为 $B = 80 \text{ mm}$ ，

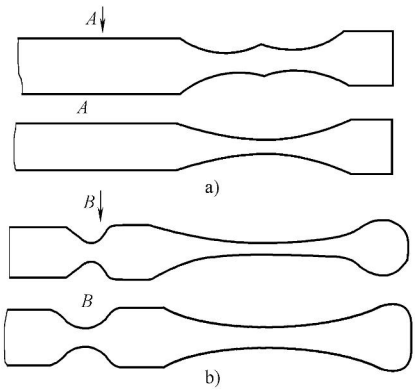


图 8-11 拔长、滚压后的坯料形状
a) 拔长的坯料 b) 滚压后的坯料

$h = 30\text{mm}$ 。钳口颈尺寸按表 2-19 选取： $a = 1.5$ ， $b = 8$ ， $l = 20$ 。预锻钳口颈尺寸需考虑两件连接处发生断裂等因素，将其宽度加大到几乎与整个钳口相等，此时金属消耗增加。

模块尺度可选为： $475\text{mm} \times 350\text{mm} \times 275\text{mm}$ （宽 $\times$ 长 $\times$ 高）。

12. 连杆模锻工艺流程

- 1) 切料：5000kN 剪型机冷切。
- 2) 加热：半连续式炉， $1220 \sim 1240^\circ\text{C}$ 。
- 3) 模锻：1.5t 模锻锤，拔长、开辊、预锻、终锻，每班约生产 1100 件。
- 4) 热切边：1600kN 切边压机。
- 5) 磨毛刺：砂轮机。
- 6) 热处理：连续热处理炉，调质，硬度为 $3.9 \sim 4.2\text{dB}$ 。
- 7) 酸洗：酸洗槽。
- 8) 冷校正：1t 夹板锤。
- 10) 检验。

8.1.3 汽车前轴分段模锻工艺及锻模设计

如图 8-12 所示为汽车前轴梁锻件的检验图。由于外形较复杂，尺寸较大，托座 ab 有薄条，因而大都在机械化程度较高的专用生产线上进行（见图 1-22），或者采用落重较大的锻锤整体模锻，如 10t 模锻锤。然而在缺乏所需吨位的锻锤时，就只能采用 5t 锤分段模锻的办法。前轴梁模锻常见的一个方案就是分两次来进行，每次只模锻一半锻件。尽管可能会造成二次加热和锻件长度精确性等问题，但是分段模锻也不失为一种模锻方法，在实际生产中时常用到。由于冷锻件图设计、预锻和终锻工步图及型槽设计的方法及步骤与上例相似，因此不再赘述，本例着重介绍汽车前轴分段模锻的工艺流程。

（1）考虑一半锻件的展开图

根据长 395mm 上最费工的部分进行选择。确定飞边槽尺寸，按照一般规则计算并作出计算坯料。

（2）选择模锻工步

1) 选用边长为 60mm，边缘倒圆的方形坯料。

2) 采用闭式辊锻来作制坯型槽：滚压型槽根据图 8-13 所得的计算坯料作成，并勾成比较圆浑的断面轮廓。但是由于上面所述的分段模锻工艺，型槽的前部要稍稍改变。坯料辊锻形状见图 8-13。

3) 锻件在平面图的外形需要采用弯曲型槽。

4) 终锻型槽：如果成形工序选择闭辊—弯曲—预锻—终锻，那么预锻型槽和终锻型槽放在一个锻模内，不仅需要很宽的锻模，还会在模锻过程中造成强烈的偏

心打击。但如不采用预锻型槽,那么要在一个终锻型槽得到托座薄条又很困难。可采用在弯曲型槽内一并进行横向夹压的方法来撤销预锻型槽,即在弯曲型槽内对锻件内托座所在部分施以横向夹压,将肋条进行压凹,以便预先获得托座的锥形。这样,在模锻这种锻件时就应采用下列成形工艺:闭滚—弯曲—终锻。

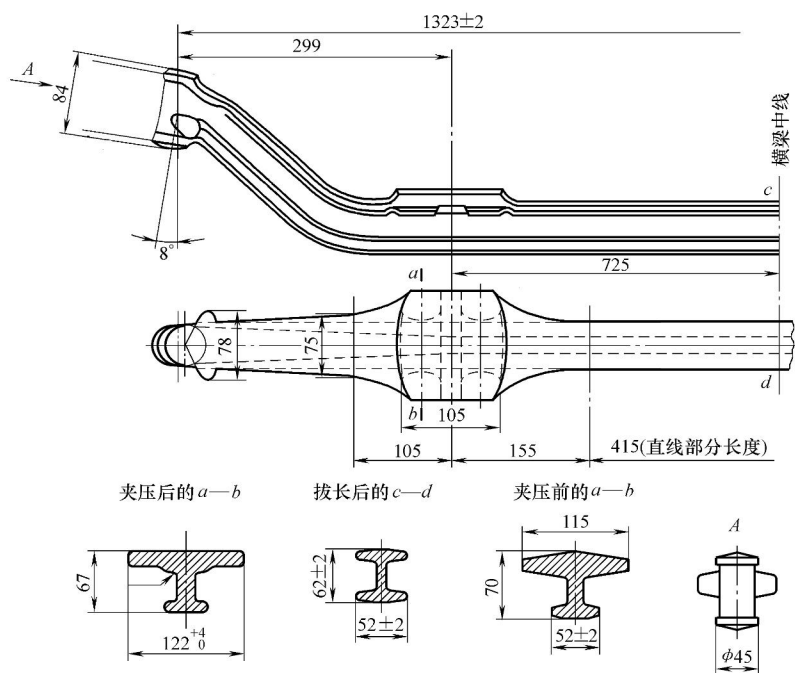


图 8-12 汽车前轴梁锻件

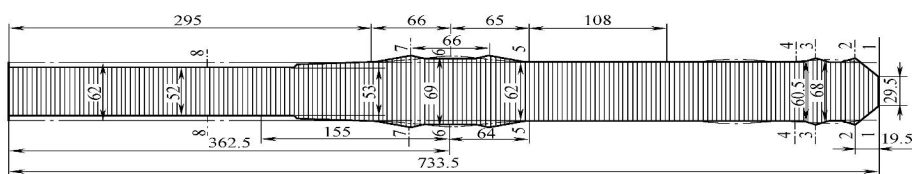


图 8-13 汽车前轴梁锻件辊锻形状图

模锻时在终锻型槽内离开中心线 40mm 之处的一段重复印压,以便锻件先后模锻的两部分在接合处能得到所需要的形状。

模锻结构详见图 8-14。

由于分段模锻时不可能精确地维持锻件长度,故锻件还要在平锻机上的专用夹具内锻成所需的长度尺寸。

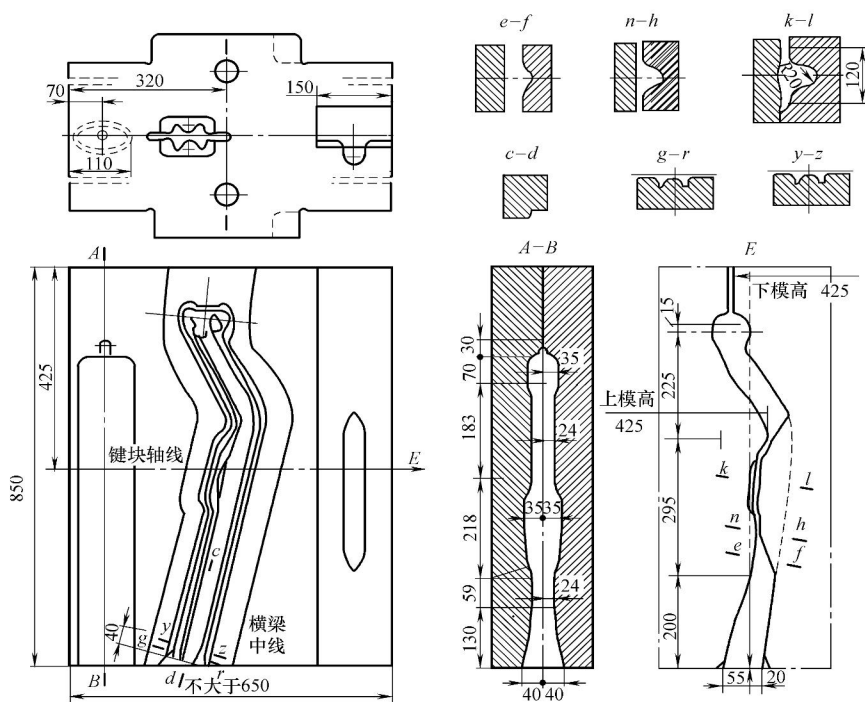


图 8-14 汽车前轴梁锻模图

8.1.4 多拐曲轴模锻工艺及锻模设计

多拐曲轴形状复杂，非加工表面较多，技术要求高，表面质量和尺寸公差要求严。除了要满足力学性能的要求外，还必须满足动平衡实验和表面探伤的要求，锻造成形相对困难。生产这类多拐曲轴模锻件，国内外曲轴毛坯专业生产厂家大都在机械化程度较高的专用生产线上进行。对于批量不大的多拐曲轴，也有的在大型模锻锤上模锻。按其连杆轴颈的布置，可将多拐曲轴分为两类：

- 1) 连杆轴颈和主轴颈轴线位于一个平面上的曲轴属于第一类。
- 2) 连杆轴颈在各个通过主轴颈轴线相互间通常成 90° 和 120° 角的不同平面上的曲轴属于第二类。

弯曲型槽是曲轴最难设计和最为关键的制坯型槽。弯曲型槽设计的成功与否，直接影响终锻的成形。弯曲工步的制订主要取决于：

- 1) 曲轴每个拐开档的宽度。
- 2) 连杆轴颈与主轴颈中心距离大小。
- 3) 是否有平衡重（块）存在。

由于冷锻件图设计、预锻和终锻工步图及型槽设计的方法及步骤与前例相似，

不再赘述, 本例着重介绍各种多拐曲轴模锻时的弯曲和终锻工步的参数选择。

1. 对于没有平衡块, 而且连杆轴颈与主轴颈中心距离较大的曲轴

如图 8-15 为四缸发动机曲轴锻模所锻造的锻件。

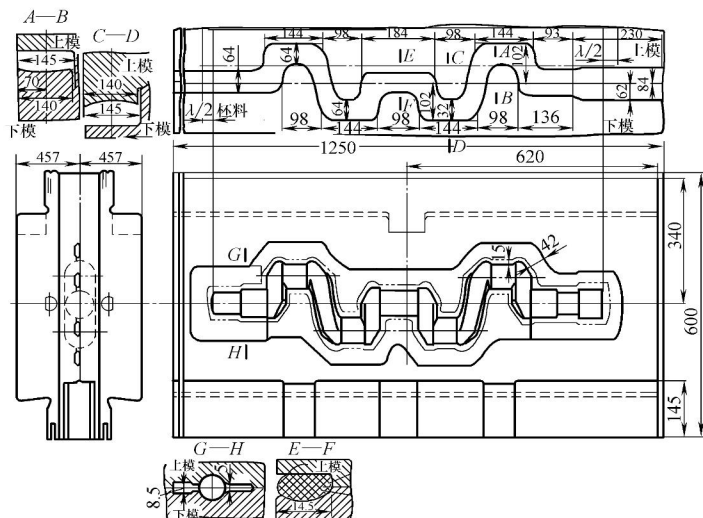


图 8-15 四缸发动机曲轴锻模图

1) 本锻件平面外形如一根圆浑的弯曲的轴线, 选择圆形坯料时弯曲和进一步模锻较为有利。

2) 由于曲轴有好几个凸部存在, 受到夹紧 (拔长) 的影响, 所以不是纯粹的弯曲, 而是同时伴随着拉长的弯曲。在这种情况下, 坯料的长度是介于锻件长度和展开长度之间的一个数值。其计算方法参照锤上模锻制坯弯曲长度展开计算部分。

3) 弯曲型槽的断面轮廓大致按照终锻型槽的轮廓线绘制, 但将转折处做成足够的圆浑并加以倒圆。在弯曲型槽内, 轴颈的高度比锻件图上的轴颈直径小 4 ~ 8mm, 而在弯曲型槽内颊板的宽度则要与锻件图上相应的宽度相等, 有时为了使转折处圆浑, 甚至还要大 2 ~ 5mm。用这种方式求得轴颈和颊板的轮廓线的交点后, 为了圆浑起见, 还要用较大半径 (25 ~ 65mm) 的圆弧进行过渡。此时, 弯曲型槽的断面轮廓有可能在很多地方超出了终锻型槽轮廓线范围, 但由于采用的是圆形坯料, 在弯曲型槽中成形金属的断面已倒成圆角, 因此终锻时不致于产生夹痕和折缝。

4) 至于存在顶端法兰的曲轴, 则在锻造切边后在平锻机上顶锻成形。

对于有平衡块, 而且连杆颊板开档较宽的曲轴, 只依靠弯曲是不能满足材料分配的, 应采用先滚压制坯, 再弯曲、模锻成型的方法。

2. 有平衡重, 颊板间距很小的锻件

如图 8-16 所示为小汽车发动机曲轴的锻模图。由于有平衡重, 在主轴颈轴线

为获得分模的最佳途径，终锻型槽设计时可以对三个成 120°的曲拐和曲柄臂采用准确的投影作图法，将其分模线的过渡情况真实地反映到曲柄臂的侧面上。为防止切边时斜坡分模造成的飞边不是被剪断而是被撕下来，还有留在锻件上的毛刺过长的缺陷，我们将分模线过渡的斜坡选定为不小于 15°，同时在两个 A—B 拐处选择了阶梯形分型面（见图 8-17）。尽管这种锻模的使用寿命较低，但很大程度简化了制造工序，亦不失为较好的设计方法。

8.2 热模锻压力机上模锻典型锻模零件设计实例

8.2.1 中间常啮合齿轮模锻工艺及锻模设计

中间常啮合齿轮属于第 I 类第一组中形状比较复杂的锻件（见表 3-2），变形工步采用镦粗、预锻和终锻。

1. 冷锻件图设计

分型面取在轮缘中部位置（见图 8-18）。

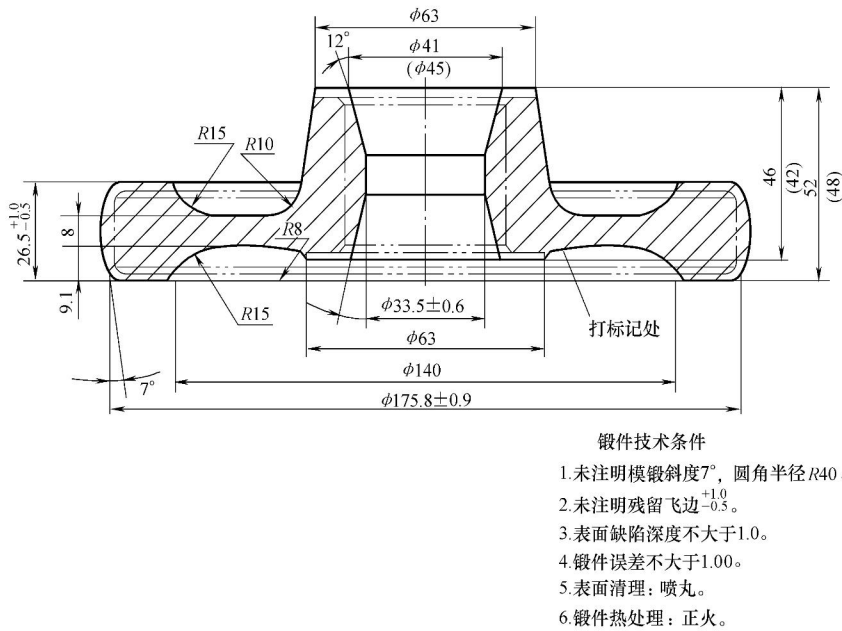


图 8-18 中间常啮合齿轮冷锻件图

锻件公差及机械加工余量按下列依据，并参考 GB/T 12362—2003 《钢质模锻件公差及机械加工余量》、表 2-4、表 2-5 和表 2-6 查取。

1) 锻件精度等级为普通级。

2) 锻件重量 $m_{\text{锻}} = 3.84\text{kg}$ (根据计算结果)。

3) 锻件形状复杂系数:

$$S = \frac{3.84}{\frac{\pi}{4} \times 171.8^2 \times 48 \times 7.85 \times 10^{-6}} = 0.43$$

4) 锻件材质系数取为 M_1 。

5) 相应零件尺寸。在图 8-18 中, 双点划线表示零件轮廓形状, 带圆括号的尺寸数值为零件尺寸, 模锻斜度按热模锻压力机锻件设计章节选取。为保证从型槽中顺利顶出锻件, 本锻件的模锻斜度取值较一般稍大。

鉴于零件上中心孔 $\phi 45\text{mm}$ 较大, 模锻时可以锻出, 考虑到孔的径深比小于 2.5, 可以采用平底连皮。

2. 终锻工步及型槽设计

从表 3-6 中选择热模锻压力机变形力, 18000 ~ 25000kN 的热模锻压力机即可满足需要。查表 3-7 得飞边桥部高度 $h = 1.0\text{mm}$, 宽度 $b = 12\text{mm}$, 入口半径 $r = 3\text{mm}$ 。终锻工步图及终锻镶块见图 8-19。

3. 预锻工步及型槽设计

按预锻工步高度尺寸比终锻工步高度尺寸大 2 ~ 5mm, 宽度尺寸适当减少的原则设计预锻工步图。预锻型槽也设飞边槽, 其桥部高度尺寸应略大于终锻型槽飞边槽桥部高度尺寸。预锻工步的圆角半径也应增大, 详见图 8-20。

4. 镦粗工步设计

采用平板间自由镦粗制坯, 其高度按坯料计算, 即

$$\begin{aligned} V_D = & \left\{ \frac{\pi}{4} \times 63^2 \times (54.3 - 6) - 2 \times \frac{\pi}{3} \times 20.5 \times \left[\left(\frac{43}{2} \right)^2 + \frac{43}{2} \times \left(\frac{43}{2} - 20.5 \times \tan 10^\circ \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{43}{2} - 20.5 \times \tan 10^\circ \right)^2 \right] + \frac{\pi}{4} (43 - 2 \times 20.5 \times \tan 10^\circ)^2 \times (54.3 - 6 - 2 \times 20.5) \right\} \text{mm}^3 \\ & = 107809 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

5. 模具结构设计

采用定位键式模架, 预、终锻镶块见 3.4 节中热模锻压力机模具结构及紧固。

8.2.2 左右转向节臂模锻工艺及锻模设计

左右转向节臂是典型的长轴类锻件, 其平面主轴线基本上是直线, 侧视图主轴线虽是折线, 但落差不大, 故属于第 II 类锻件 (见表 3-2)。

针对左右转向节臂形状比较复杂, 垂直主轴线断面面积差别显著的特点, 变形工步采用辊锻机上制坯、热模锻压力机上预锻和终锻三个工步。其中, 冷锻件图设计、预锻和终锻工步图及型槽设计的方法及步骤与上例相似, 因此不再赘述, 设计结果见图 8-21、图 8-22、图 8-23 和图 8-24。

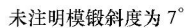


图 8-19 中间常啮合齿轮终锻工步图及终锻镶块

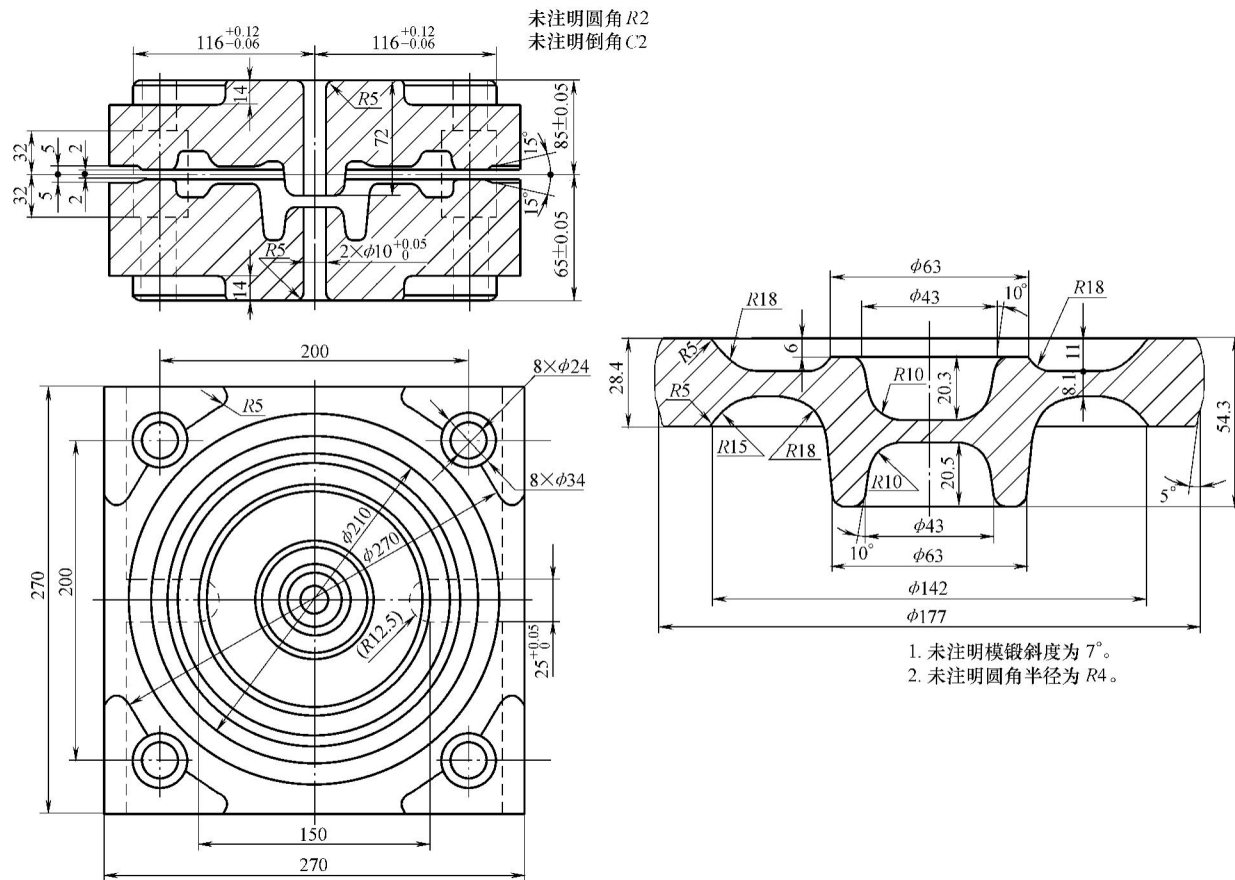


图 8-20 中间常啮合齿轮预锻工步图及预锻镶块

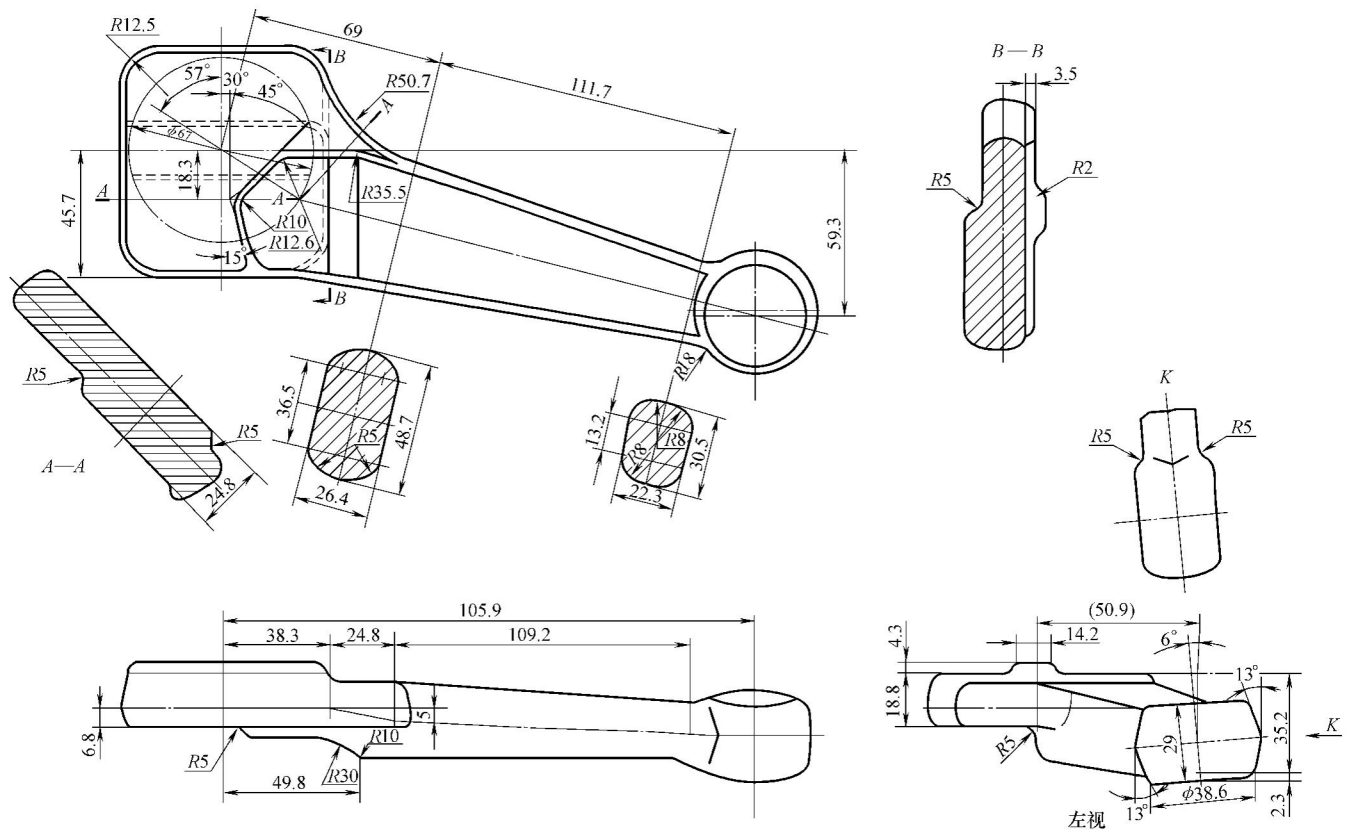


图 8-21 左右转向节臂终锻工步图

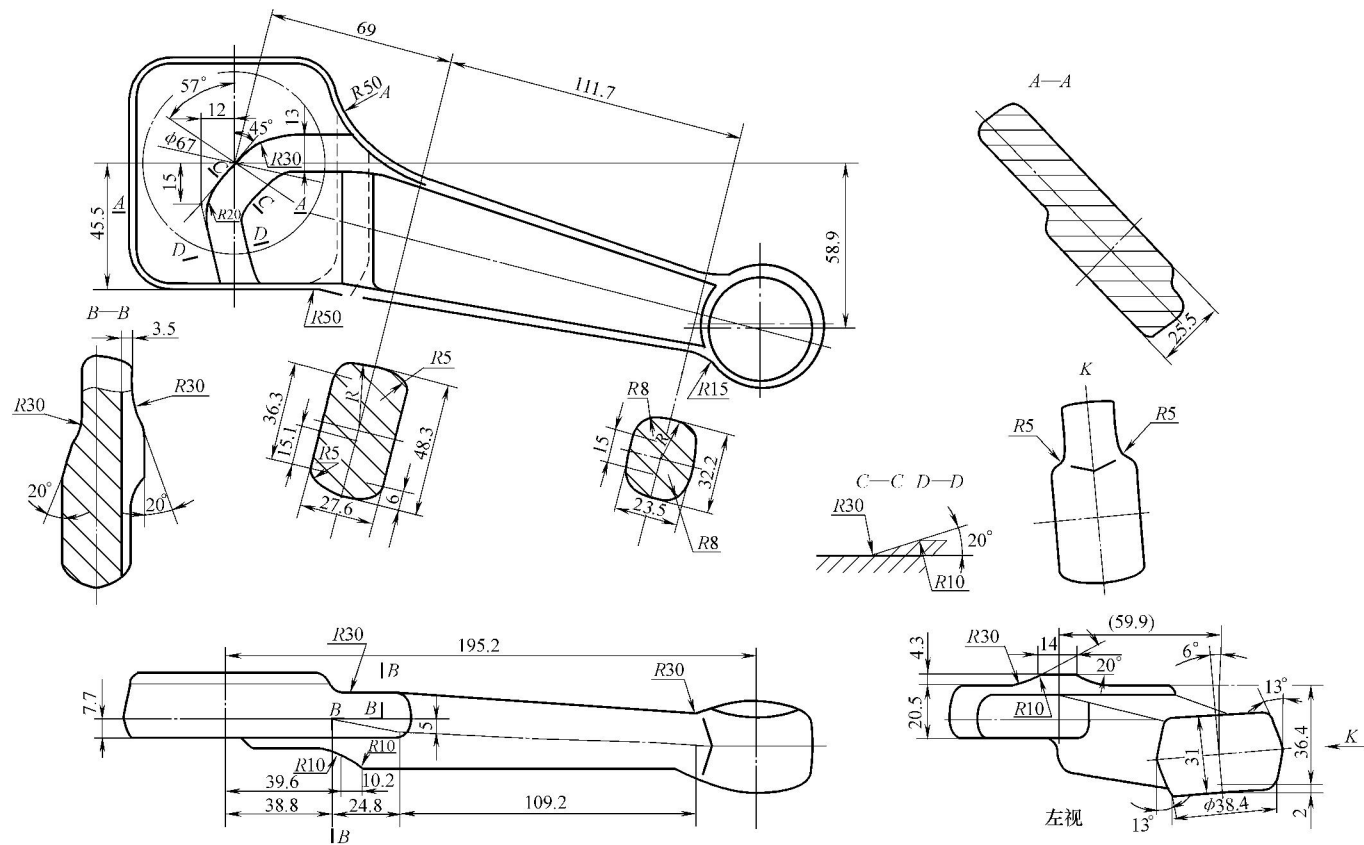
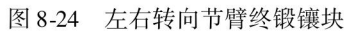
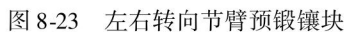


图 8-22 左右转向节臂预锻工步图



本例着重介绍制坯辊锻工艺及辊锻模具设计过程。

1. 设计辊锻毛坯图

在锻件横断面面积变化剧烈处取若干个典型断面，计算得锻件断面图。假定辊锻后坯料断面为圆形，则由锻件断面图可得辊锻后的毛坯图（见图 8-25）。按 $d_0 = 1.13 \sqrt{A_{\max}}$ 计算下料坯料直径，经圆整得 $d_0 = 50\text{mm}$ 。

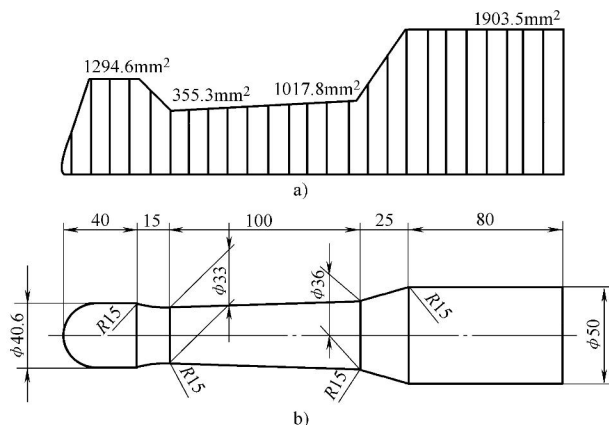


图 8-25 左右转向节臂辊锻毛坯图

2. 确定辊锻道次

由辊锻毛坯图可知 $A_{\max} = 1963.6\text{mm}^2$ ， $A_{\min} = 855.3\text{mm}^2$ ，则有

$$\lambda_{\max} = \frac{1963.5}{855.3} = 2.3$$

若采用圆—椭圆—圆型槽孔型系，在表 7-13 查得 $\lambda_{\text{ep}} = 1.4$ ，故辊锻道次为

$$n = \frac{\lg 2.3}{\lg 1.4} = 2.48$$

圆整为 $n = 2$ 。

3. 选取型槽孔型系

采用圆—椭圆—圆孔型系。

4. 辊锻型槽设计

根据终锻工步设计中确定的热模锻压力机公称压力（10000kN）查表 7-4，选取公称直径 $D_0 = 300\text{mm}$ 的辊锻机。

采用图解法设计第一道次辊锻的椭圆断面坯料及型槽尺寸，如图 8-25b 所示。取 1-1，2-2 和 3-3 三个典型断面（图 8-26），按图 7-13 求得设计结果，列于表 8-4。

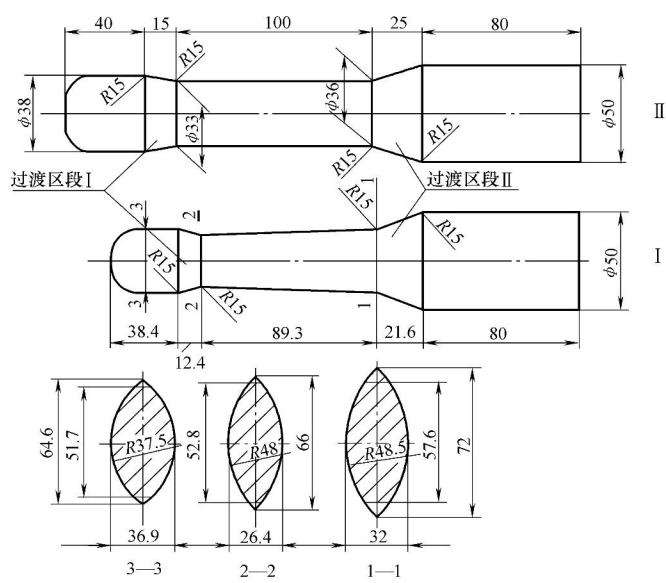


图 8-26 左右转向节臂辊锻制坯工步图

表 8-4 椭圆断面坯料及型槽尺寸

断 面	1-1	2-2	3-3
设计参数			
锻辊公称直径 D_0	$\frac{300}{50} = 6$	$\frac{300}{50} = 6$	$\frac{300}{50} = 6$
原始坯料直径 d_0			
原始坯料直径 d_0	$\frac{50}{36} = 1.39$	$\frac{50}{33} = 1.52$	$\frac{50}{40.6} = 1.23$
辊锻后最终直径 d_1			
椭圆坯料轴长比 a_1	1.8	2.0	1.4
椭圆坯料高径比 $\frac{h_1}{d_1}$	0.88	0.80	0.92
椭圆坯料高度 h_1	$0.88 \times 36 = 32.0$	$0.80 \times 33 = 26.4$	$0.91 \times 40.6 = 36.9$
椭圆坯料宽度 b_1	$1.8 \times 32.0 = 57.8$	$2.0 \times 26.4 = 52.8$	$1.4 \times 36.9 = 51.7$
椭圆型槽充满程度 δ	0.8	0.8	0.8
椭圆型槽轴长比 a_k	$\frac{1.8}{0.8} = 2.25$	$\frac{2.0}{0.8} = 2.50$	$\frac{1.4}{0.8} = 1.75$
椭圆型槽理论宽度 b_k	$32.0 \times 2.25 = 72.0$	$26.4 \times 2.5 = 66.0$	$36.9 \times 1.75 = 64.6$
椭圆型槽圆弧半径 R_k	$\frac{1 + 2.25^2}{4} \times 32.0 = 48.5$	$\frac{1 + 2.5^2}{4} \times 26.4 = 47.8$	$\frac{1 + 1.75^2}{4} \times 36.9 = 37.5$
辊锻模具间隙 z	4	4	4
椭圆型槽实际宽度 b_z	$(32 - 4) \sqrt{\frac{4 \times 48.5}{32 - 4} - 1} = 68.2$	$(26.4 - 4) \sqrt{\frac{4 \times 47.8}{26.4 - 4} - 1} = 61.5$	$(36.9 - 4) \sqrt{\frac{4 \times 37.5}{36.9 - 4} - 1} = 62.0$

圆形坯料在椭圆型槽中辊锻时的延伸系数 λ_1 由图 7-13 确定, 椭圆坯料在圆形型槽中辊锻时的延伸系数 $\lambda_2 = d_0^2/d_1^2\lambda_1$, 计算结果列于表 8-5。

表 8-5 延伸系数 λ_1 及 λ_2

参 数 \ 断 面	1-1	2-2	3-3
$\frac{D_0}{d_0}$	$\frac{300}{50} = 6$	$\frac{300}{50} = 6$	$\frac{300}{50} = 6$
a_1	1.8	2.0	1.4
λ_1	1.33	1.38	1.21
d_1	36	33	40.6
λ_2	$\frac{50^2}{36^2 \times 1.33} = 1.45$	$\frac{50^2}{33^2 \times 1.38} = 1.66$	$\frac{50^2}{40.6^2 \times 1.21} = 1.25$

5. 辊锻型槽纵向尺寸设计

1) 辊锻坯料过渡区段尺寸计算: 根据辊锻毛坯图及前面算得的结果, 可求出原始坯料在第一道次辊锻时的过渡区段长度, 计算结果列于表 8-6。第二道次辊锻时坯料的过渡区段长度可按相同方法计算, 最终结果可见图 8-26。

表 8-6 第一道次辊锻时的坯料过渡区段长度

	过渡区段 I	过渡区段 II
l_2/mm	15	25
$(A_a)_1/\text{mm}^2$	$\frac{\pi}{4} \times 26.4 \times 66 \times 0.8 = 1094.8$	$\frac{\pi}{4} \times 32 \times 72 \times 0.8 = 1447.6$
$(A_b)_1/\text{mm}^2$	$\frac{\pi}{4} \times 36.9 \times 64.6 \times 0.8 = 1497.7$	$\frac{\pi}{4} \times 50^2 = 1963.5$
$(A_a)_2/\text{mm}^2$	$\frac{\pi}{4} \times 33^2 = 855.3$	$\frac{\pi}{4} \times 36^2 = 1017.9$
$(A_b)_2/\text{mm}^2$	$\frac{\pi}{4} \times 40.6^2 = 1294.6$	$\frac{\pi}{4} \times 50^2 = 1963.5$
l_1/mm	$15 \times \frac{855.3 + \sqrt{855.3 \times 1294.6} + 1294.6}{1094.8 + \sqrt{1094.8 + 1497.7} + 1497.7} = 12.4$	$25 \times \frac{1017.9 + \sqrt{1017.9 \times 1963.5} + 1963.5}{1447.6 + \sqrt{1447.6 \times 1963.5} + 1963.5} = 21.6$

2) 型槽纵向长度尺寸计算: 除过渡区段长度外, 还需计算在第一道次辊锻后相应于第二道次辊锻后长 40 及 100mm 的长度。计算结果列于表 8-7。

表 8-7 第一道次辊锻型槽纵向长度 (单位: mm)

	第一段长度	第二段长度
前滑 g	0.12	0.04
L_d	$\frac{100}{1 + 0.12} = 89.3$	$\frac{40}{1.04} = 38.4$

3) 纵向型槽图的绘制: 将上述各段长度换算成模具中心角, 得到第一道次辊锻型槽长度对应的中心角, 计算结果列于表 8-8。

表 8-8 辊锻型槽纵向长度中心角 α

	第一段	第二段	第三段	第四段
L_1	21.6	89.3	12.4	38.4
α	$\frac{2 \times 21.6}{\left(300 - \frac{32 + 50}{2}\right) \times (1 + 0.12)}$ =0.15	$\frac{2 \times 89.3}{\left(300 - \frac{22.5 + 32}{2}\right) \times (1 + 0.12)}$ =0.585	$\frac{2 \times 12.4}{\left(300 - \frac{26.4 + 36.9}{2}\right) \times (1 + 0.04)}$ =0.089	$\frac{2 \times 38.4}{(300 - 33.5) (1 + 0.04)}$ =0.277

根据以上有关数据，绘制出纵向型槽图，如图 8-27 所示。

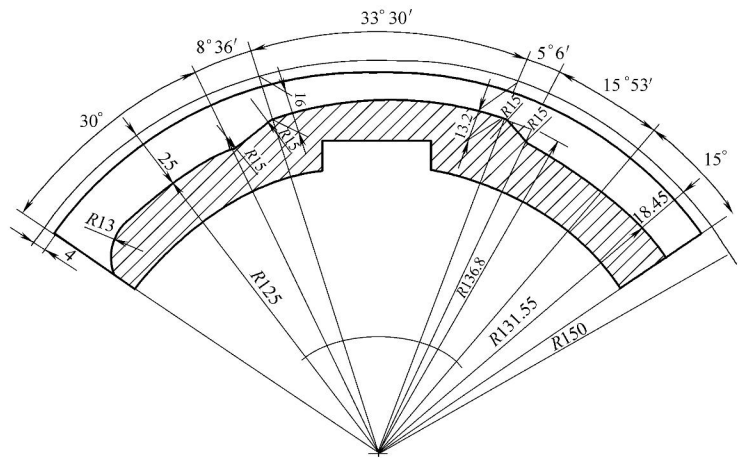


图 8-27 辊锻纵向型槽图

8.3 摩擦压力机模锻典型锻模零件设计实例

由于摩擦压力机的模锻工艺及锻模与锤上模锻的很相似，因此根据实际经验，常常把锤上模锻的工艺作为参考的依据。通常，将它的毛坯工序与模锻工序分离开来进行：毛坯工序放在自由锻锤上进行，而模锻工序则放在摩擦压力机上进行。其他的切边、校正、热处理、清理等工序则与一般的模锻性质相同，但是还得根据生产批量、具体设备等技术水平及工作条件作必要的修正。从锻件图到模具结构的详细设计过程与锤上模锻相同。为了便于了解摩擦压力机模锻的实际生产过程，特举下列几个例子作为补充说明。

8.3.1 M-20 型小轿车连杆

M-20 发动机连杆的工字肋高度较大，宽度较小，内部的圆角较小，表面不允许有缺陷，常常是各个厂的关键锻件。还要控制锻件的重量，因此加热次数愈少愈好，其工艺过程介绍如下：

1) 材料: 45 钢, 毛坯形状尺寸和重量分别为: $\phi 55 \times 67\text{mm}$, 1.25kg。

2) 毛坯工序: 摩擦压力机上不宜于拔长和滚压工序, 常采用自由锻锤型砧制坯相配。连杆的大头、小头和杆部的型砧制坯工序是分段滚压和拔长, 即大头、小头和杆部分别在同一型砧上的三个分段型槽中进行滚压和拔长, 具体步骤为 400kg 空气锤夹大头—大头打扁—拔细杆部—夹小头—杆部闭口滚挤。空气锤旁边宜设一压缩空气喷嘴, 操作时吹掉氧化皮, 其它的工序过程及模具形状见图 8-28。

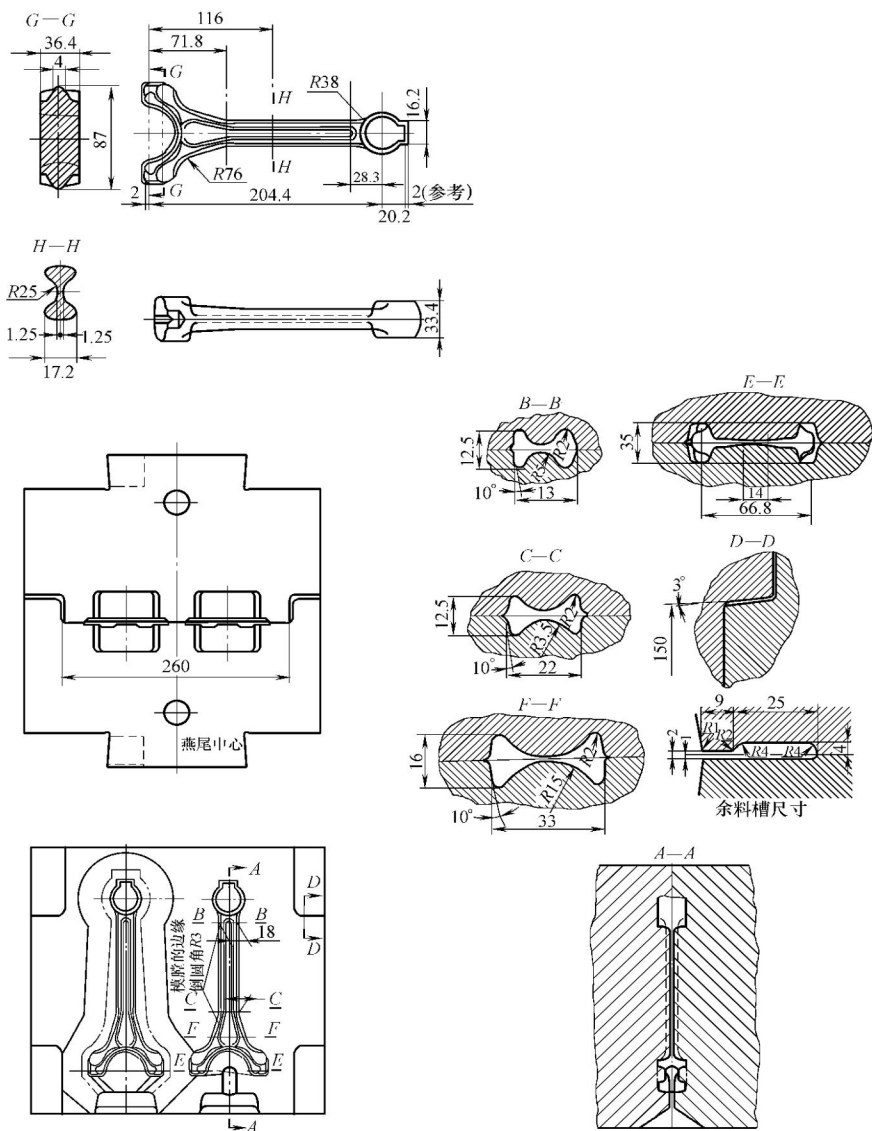


图 8-28 M-20 发动机连杆图和锻模图

3) 模锻工序: 4500kN 摩擦压力机。工步为预锻和终锻。

M-20 发动机连杆图和锻模图如图 8-28 所示, 系采用整体式结构, 因摩擦压力机承受偏心载荷的能力较差, 故设置角导锁来防止上、下模错移和旋转。该锻模上的预锻型槽和终锻型槽的设计与锤上锻模设计举例的相应部分完全相同。

4) 切边工序: 1500kN 冲床, 终锻连续热切边。

5) 去毛刺: 砂轮机。

6) 热处理: 调质 (并酸洗)。

7) 冷校正: 1t 夹板锤。

因为这种连杆的技术要求里必须保证锻件的重量不超过规定, 为了延长锻模寿命, 因此终锻型槽及校正模的深度, 可按热、冷锻件图在全高度上减低 0.5mm。

8.3.2 后桥半轴

在大批量生产时, 这种锻件一般是在平锻机上生产的。但在批量不太大时, 也可以利用自由锻锤及摩擦压力机进行生产。

先采用较粗的毛坯, 在空气锤上拔杆部, 应注意控制杆部长度不宜超出公差 2mm, 以后在 4500 ~ 6000kN 摩擦压力机上镦粗头部, 见图 8-29。

在镦粗时, 由于杆部太长, 不能直接插入锻模里去, 应将下模分为活动部分及固定部分, 事先将活动部分的锻模套进半轴杆部, 并以斜的方向插入下模的固定部分, 杆部的下端放在顶出装置的横挡上, 镦粗后锻件连同活动部分的下模一起取出, 并将锻件敲出。

锻件镦粗后由于杆部会发生弯曲现象, 必须进行热校直, 其主要工艺过程如下:

1) 毛坯工序: 400kg 空气锤, 拔杆部热校直。

2) 镦粗工序: 4500kN 摩擦压力机。

3) 校直工序: 热校直。

4) 正火。

5) 冷校正: 630kN 油压校正机。

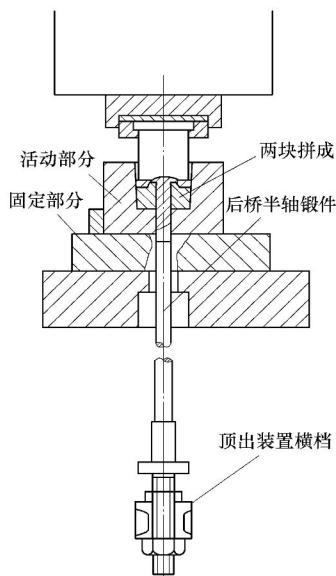


图 8-29 载重汽车后桥半轴镦粗示意图

8.3.3 十字节轴

十字节轴的结构图如图 8-30 所示。在生产过程中, 如何减少金属材料的消耗, 如何简化毛坯工序的复杂程度是十字节轴锻件的关键问题。

1. 方案 1

高级锻工在空气锤上作毛坯工序的操作，将圆料锻粗成圆饼形状，然后拔方并夹成十字形，如图 8-31 所示。但是这种操作方法的生产效率不高。

2. 方案 2

采用一种固定式的空气锤上的毛坯工序锻模，这种工艺方法相对前工艺较好，模锻工序如图 8-32 所示。材料为 20 钢，毛坯为 $\phi 50 \times 115\text{mm}$ 。它的主要工艺过程如下：

1) 毛坯工序：500kg 空气锤（如果锤砧的宽度不够，可以采用 750kg 空气锤），其工步为锻粗同时去氧化皮，夹成十字形。

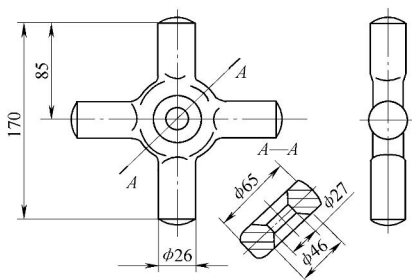


图 8-30 载重汽车十字轴锻件图

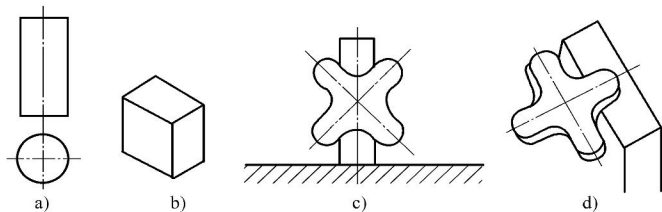


图 8-31 空气锤上十字轴毛坯工序示意图

a) 原材料 b) 锻扁方 c) 夹肩 d) 拔脚夹圆

2) 终锻工序：4500kN 摩擦压力机，其终锻模形状如图 8-33 所示。

3) 切边工序：模锻后在 1600kN 切边压床上连续热切边。

4) 正火及清理（酸洗）。

5) 冷校正：1t 夹板锤。



图 8-32 十字轴毛坯工序模锻示意图

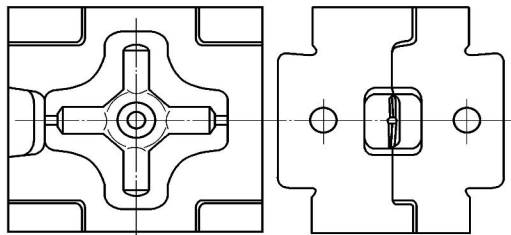


图 8-33 十字轴终锻模

8.3.4 齿轮坯

图 8-34 所示为齿轮坯锻模模块结构，模具总体结构系采用摩擦压力机圆形镶

块模所示的组合结构，型槽按热锻件图制造，采用圆形锁扣导向，模块尺寸按表 4-23 选用。

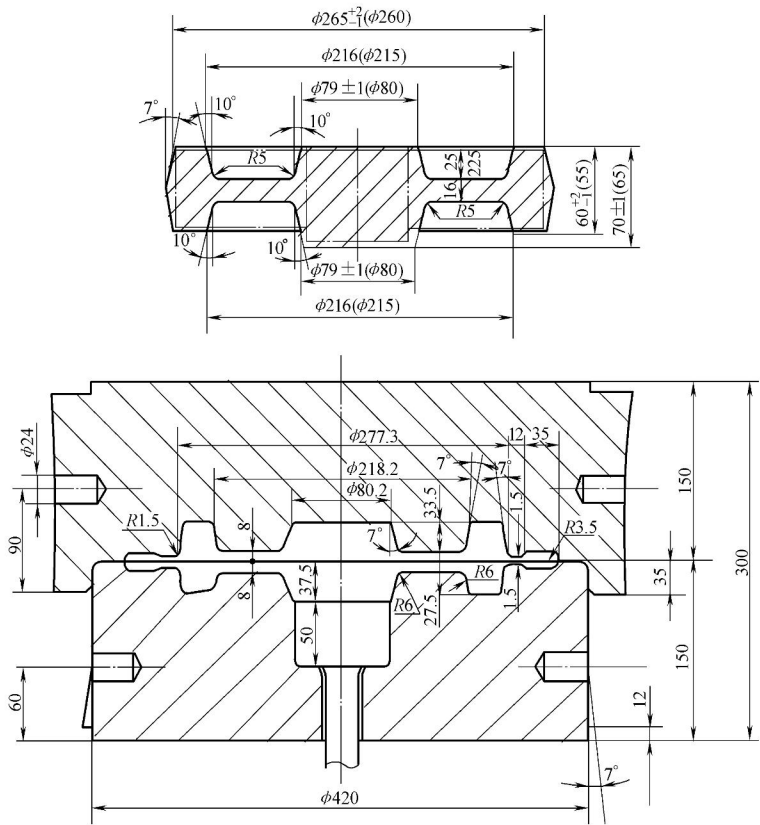


图 8-34 齿轮坯锻件及锻模结构图

8.4 平锻典型锻模零件设计实例

8.4.1 水箱拉杆锻锻

图 8-35 是水箱拉杆锻件图。

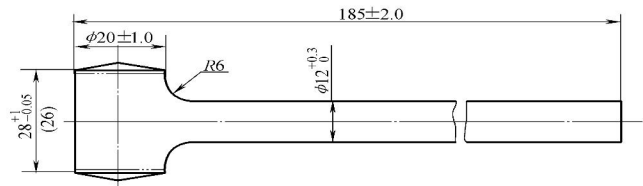


图 8-35 水箱拉杆锻件图

根据热锻件镦粗部分的尺寸、尺寸上偏差之半和环形飞边, 计算出坯料变形部分的体积 $V = 11000 \text{ mm}^3$ (以下长度单位均取 mm)。

$$\text{坯料热镦粗部分的长度 } L = \frac{4V}{\pi d_0^2} = \frac{4 \times 11000}{3.14 \times 12.15^2} \text{ mm} = 95 \text{ mm}$$

$$\text{镦粗部分的长径比 } \psi = \frac{L}{d_0} = \frac{95}{12.15} = 7.82$$

根据局部镦粗基本条件: $\psi_{允} = 2 + 0.01d_0 = 2 + 0.01 \times 12.15 = 2.14 < \psi = 7.82$, 因而需要进行中间锥形镦锻。

由 $D_{均}$ 、 ψ 、 L 和 m 确定锥形工步数 n' :

$$D_{均} = 1.13 \sqrt{\frac{V}{L_{锻}}} = 1.13 \sqrt{\frac{11000}{20}} \text{ mm} = 26.5 \text{ mm}$$

$$n' = \frac{D_{均} \psi - L}{(0.042\psi + m) D_{均}} - 1 = \frac{26.5 \times 7.82 - 95}{(0.042 \times 7.82 + 0.7) \times 26.5} - 1 = 3.12$$

取 $n' = 3$ 。

第一工步型槽尺寸:

$$d_1 = 12.15 \times [1.05 + 0.05(1 - 1)] \text{ mm} = 12.76 \text{ mm}$$

取 13mm。

$$D_1 = \frac{2 \times 95}{7.82 - (0.042 \times 7.82 + 0.7) \times 1} \text{ mm} - 13 \text{ mm} = 14.97 \text{ mm}$$

由于 $14.97 \text{ mm} < 1.25d_{n-1} = 1.25 \times 12.15 \text{ mm} = 15.2 \text{ mm}$, 所以 $D_1 = 16 \text{ mm}$ 。

$$L_1 = \frac{3.82u_1 V}{d_1^2 + D_1^2 + d_1 D_1} = \frac{3.82 \times 1.05 \times 11000}{13^2 + 16^2 + 13 \times 16} \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

第二工步型槽尺寸:

$$d_2 = 13 \times [1.05 + 0.05(2 - 1)] \text{ mm} = 14.3 \text{ mm}$$

取 15mm。

$$D_2 = \frac{2 \times 95}{7.82 - (0.042 \times 7.82 + 0.7) \times 2} \text{ mm} - 15 \text{ mm} = 17.9 \text{ mm}$$

由于 $17.9 \text{ mm} < 1.25 \times \frac{13 + 16}{2} \text{ mm} = 18.1 \text{ mm}$, 所以取 $D_2 = 18 \text{ mm}$ 。

$$L_2 = \frac{3.82u_2 V}{d_2^2 + D_2^2 + d_2 D_2} = \frac{3.82 \times 1.04 \times 11000}{15^2 + 18^2 + 15 \times 18} \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

第三工步型槽尺寸:

$$d_3 = 15 \times [1.05 + 0.05(3 - 1)] \text{ mm} = 17.3 \text{ mm}, \text{ 取 } 17 \text{ mm}。$$

$$D_3 = \frac{2 \times 95}{7.82 - (0.042 \times 7.82 + 0.7) \times 3} \text{ mm} - 17 \text{ mm} = 23 \text{ mm}$$

由于 $23 \text{ mm} > 1.25 \times \frac{15 + 18}{2} \text{ mm} = 20.6 \text{ mm}$, 所以取 $D_3 = 23 \text{ mm}$ 。

$$L_3 = \frac{3.82u_3V}{d_3^2 + D_3^2 + d_3D_3} = \frac{3.82 \times 1.02 \times 11000}{17^2 + 23^2 + 17 \times 23} \text{mm} = 35.5 \text{mm}$$

考虑到 $\psi_3 = \frac{L_3}{d_{\text{均}3}} = \frac{35.5}{17+23} \text{mm} = 1.77 \text{mm}$, 而 $\psi_{\text{允}} = 2 + 0.01d_{\text{均}3}$, 即 $\psi_4 < \psi_{\text{允}}$, 因此

此第四工步可以作为终锻成形工步。

经验算, 各工步的 β 值均符合锥形型槽锻条件。但前两工步型槽锥角均小于 2° , 容易在分型面出现飞边, 因此应使凸凹模的顶面间隙大于 5mm 。

考虑到分型面的位置, 并保证型槽体积不变, 将上述各工步尺寸作适当修改, 得到如图 8-36 所示的水箱拉杆平锻工步图。

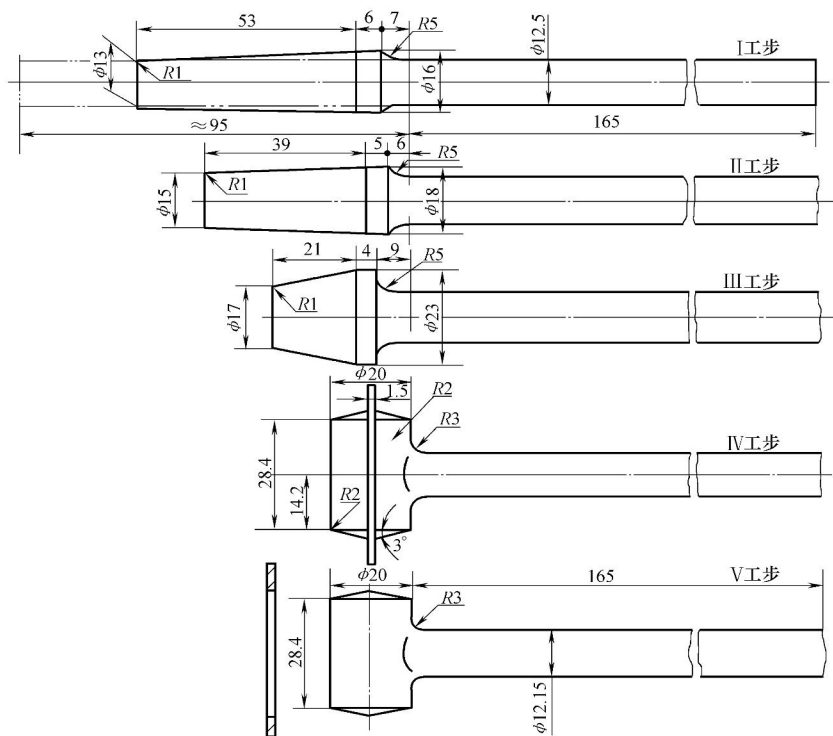


图 8-36 水箱拉杆平锻工步图

8.4.2 汽车半轴平锻工艺

如图 8-37 所示为汽车半轴锻件图。

经计算, 锻件法兰体积 $V = 1196 \text{cm}^3$, 坯料直径 $d_0 = 50 \text{mm}$, 局部锻粗部分坯料长度 $L = 375 \text{mm}$, 长径比 $\psi = 7.5$ 。

参 考 文 献

- [1] 中国机械工程学会塑性工程学会. 锻压手册: 第1卷 锻造[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 刘景顺. 汽车零件锻造技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001.
- [3] 张志文. 锻造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [4] 锻工手册编写组. 锻工手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1976.
- [5] 吕炎. 锻造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [6] 李永堂, 等. 锻压设备理论与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [7] 洪慎章, 李名尧. 锻造实用数据速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [8] 夏巨湛, 丁永祥, 故国安. 闭式模锻[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [9] 冯桐笙. 国外锻压生产[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2001.
- [10] 国家机械工业委员会. 高级锻压工工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [11] 锻件质量分析编写组. 锻造质量分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [12] 吕炎. 锻造缺陷分析与对策[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

本书特色

按模锻工艺和锻模设计流程编写
涵盖模锻生产实践环节和知识点
实例丰富且具有代表性和普遍性
弥合专业教育和实际应用的缝隙
帮助读者提高模锻综合实践能力

机械工业出版社压力加工类书目 (部分)

书 号	书 名	定 价
22255	锻压手册 第1卷 锻造 (第3版)	105.00元
22256	锻压手册 第2卷 冲压 (第3版)	102.00元
22254	锻压手册 第3卷 锻压车间设备 (第3版)	88.00元
24978	锻工速成与提高	35.00元
23452	冲压成型技术禁忌	43.00元
23933	板料和型材的冲压与成形技术	58.00元
21191	冲压加工质量控制与故障检修	36.00元
15146	冷挤压实用技术	54.00元
18195	冷冲压实用技术	65.00元
22011	锻造实用数据速查手册	38.00元
25198	冲压技术实用数据速查手册	70.00元
28582	多工位连续冲压技术及应用	57.00元
29062	冲压工速成与提高	28.00元

ISBN 978-7-111-30045-8

策划编辑：陈保华
封面设计：路恩中

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 锻压

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

邮政编码：100037
网络服务
门户网：<http://www.cmpbook.com>
教材网：<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

定价：34.00元

ISBN 978-7-111-30045-8



9 787111 300458 >